МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева

В.П. Меркулова

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Часть I

Рекомендовано Научно-методическим советом
Университета в качестве учебного пособия

Алматы 2013

УДК 658(075.8)
ББК 34.7 я 73
М 52

М 52 Меркулова В.П. Основы технологии основных производств. Ч. I. Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ, 2013. – 468 с.
Ил. 77. Табл. 24. Библиогр. – назв.
ISBN 978-601-228-542-0

Учебное пособие (часть I) составлено в соответствии с требованиями квалификационной характеристики специалиста и Государственных образовательных стандартов для студентов специальности 5В073100 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» при изучении курса «Основы технологии основных производств».

Рассмотрены методы, процессы, оборудование и технологические схемы разведки месторождений полезных ископаемых, их добычи подземным и открытым способами, системы разработки нефтяных и газовых месторождений.

Объём учебного пособия и полнота изложения материала определились назначением курса и объёмом часов, предусмотренных учебным планом.

Пособие может быть полезным студентам при выполнении дипломных проектов по специальности 5В073100 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды».

УДК 658(075.8)
ББК34.7 я 73

Рецензенты:
В.Л. Лось, д-р г-м наук, проф.,
А.М. Бейсебаев, д-р техн. наук, проф. кафедры РГПиШС КазНТУ им. К.И. Сатпаева.
В.Л. Гульницкий, канд. геол.-мин. наук, проф. КБТУ.

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2013 г.

ISBN 978-601-228-542-0

© Меркулова В.П., 2013
© КазНТУ, 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Чтением курса «Основы технологии основных производств» начинается изучение технологических дисциплин для студентов специальности 5В073100 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды».

Целью преподавания данной дисциплины является ознакомление студентов с методами, технологиями, оборудованием, тех отраслей промышленности, в которых будут работать будущие специалисты. Без знания основных производств и современных технологий невозможно правильно и адекватно реагировать на негативные процессы и явления, связанные с безопасным ведением работ. Глубокие знания специалистом особенностей технологического процесса позволят анализировать условия и режимы работы, разрабатывать и осуществлять мероприятия по предотвращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний, принимать самостоятельные решения в условиях, грозящих здоровью или жизни работающих.

Учебное пособие по рассматриваемой дисциплине состоит из двух частей:

в первой части рассматриваются технологии геологоразведочных работ, нефтегазового и горного производств;

во второй части рассматриваются процессы обогащения полезных ископаемых, технологии получения черных и цветных металлов, организация машиностроительного производства.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам: доктору геолого-минералогических наук, профессору Лось Владимиру Львовичу; доктору технических наук, профессору Бейсебаеву Акылжану Масымхановичу; кандидату геолого-минералогических наук, профессору Гульницкому Валериию Леонидовичу за оказанную помощь и практические замечания при подготовке рукописи учебного пособия.

ВВЕДЕНИЕ

Успешная реализация экономических реформ в Республике Казахстан предполагает активное участие профессионально подготовленных, грамотных и эрудированных специалистов, обладающих глубокими знаниями и мировоззрением по различным аспектам современного этапа развития общества, в т. ч. и по проблемам его безопасности.

Интенсивное использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды, широкое внедрение техники, систем механизации и автоматизации во все сферы общественно-производственной деятельности, формирование рыночных отношений сопровождаются появлением и широким распространением различных природных, биологических, техногенных, экологических и других опасностей. Они требуют от каждого специалиста умения определять и осуществлять комплекс эффективных мер защиты от их неблагоприятного действия на организм человека и здоровье населения.

Основополагающим фактором безопасности жизнедеятельности является предупреждение и упреждение потенциальной опасности. Потенциальная опасность является универсальным свойством в процессе взаимодействия человека со средой обитания. Все действия человека и все компоненты среды обитания (прежде всего технические средства и технологии), кроме положительных свойств и результатов, обладают способностью генерировать опасные и вредные факторы. При этом новый положительный, результат, как правило, соседствует с новой потенциальной опасностью или группой опасностей.

В современном мире к опасным и вредным факторам естественного происхождения (повышенные и пониженные температуры воздуха, атмосферные осадки, грозовые разряды и др.) прибавились многочисленные опасные и вредные факторы ан-

тропогенного происхождения (шумы, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др.), связанные с производственной, хозяйственной и иной деятельностью человека.

Наиболее выражено процессы техногенного изменения качественных характеристик среды развиваются в производственной сфере, являющейся наиболее значимой в профессиональной трудовой деятельности специалистов различного профиля. Достигнутый прогресс в сфере производства в период научно-технической революции сопровождался и сопровождается в настоящее время ростом числа и повышением уровня опасных и вредных факторов производственной среды. Например, использование прогрессивных способов плазменной обработки материалов вызвало необходимость и потребовало средств защиты работающих от токсичных аэрозолей, электромагнитных полей, повышенного уровня шума, воздействия электрических сетей высокого напряжения. Создание двигателей внутреннего сгорания решило многие транспортные проблемы, но одновременно привело к повышенному травматизму на автодорогах, породило трудноразрешимые задачи по защите человека и природной среды от токсичных выбросов (отработавших газов, масел, продуктов износа шин и др.) автомобилей.

Производственная деятельность человека постоянно оказывает возрастающее негативное влияние на качество природной среды, способствуя возникновению неблагоприятных экологических факторов, формирующих до 25–30 % патологий человека. При этом рост антропогенного воздействия на природную среду не всегда ограничивается лишь прямым воздействием, в частности увеличением концентрации токсичных примесей в атмосфере. При определенных условиях возможно проявление вторичных негативных воздействий на природную среду и человека (процессы образования кислотных дождей, парникового эффекта, разрушение озонового слоя Земли).

На всех этапах развития человек стремится к обеспечению личной безопасности и сохранению здоровья. Это стремление явилось мотивацией многих действий и поступков человека.

Стремительное наращивание производственных мощностей, развитие энергетики и средств транспорта, интенсивная добыча природных ресурсов, широкое применение удобрений и ядохимикатов в сельском хозяйстве, мелиорация земель поставили некоторые регионы страны на грань экологической катастрофы (экоцида).

Ряд чрезвычайных экологических ситуаций создают военные ведомства. В зонах испытательных полигонов возникает и длительно действует комплекс повышенных опасных и вредных факторов. К ним относятся: повышенный радиационный и химический фон, загрязнения токсичными веществами поверхностных и подземных вод, почвы и др.

Происходящие негативные изменения среды обитания человека предопределяют необходимость того, что современный специалист должен быть в достаточной степени подготовлен к соответствующей обстановке для успешного решения возникающих задач по обеспечению безопасности жизнедеятельности тех или иных контингентов работающих, всего производственного Персонала и населения, по ликвидации последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф.

Подготовке такого специалиста способствует изучение в учебных заведениях дисциплины «Основы технологии основных производств».

В настоящем учебном пособии, предназначенном для студентов высших учебных заведений, специализирующихся в области безопасности и защиты окружающей среды, достаточно подробно изложены материалы, касающиеся характеристик вредных и опасных факторов производственной и природной среды, технологии, оборудования ведущих отраслей народного хозяйства, составляющих основу ВВП суверенного Казахстана.

1. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1. Геологоразведочные работы и учение о разведке недр

В системе народного хозяйства РК геологоразведочные работы рассматриваются как важнейшая отрасль материального производства, обеспечивающая выявление и оценку минерально-сырьевых ресурсов для всех отраслей промышленности и сельского хозяйства. В современном понимании геологоразведочные работы включают проведение геологосъемочных, поисковых и собственно разведочных работ. В данной дисциплине рассматриваются вопросы, связанные с проведением собственно разведочных работ, которые начинаются с момента выявления промышленных концентраций полезного ископаемого в пределах локального участка земной коры и завершаются с окончанием горно-эксплуатационных работ. Они включают: составление проекта разведочных работ, геологическое картирование поверхности, проходку горных выработок и скважин, проведение комплекса геодезических, геофизических, геохимических, гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений, изучение и опробование горных выработок и скважин, испытания и анализы образцов, рядовых, технологических и технических проб. По результатам геологоразведочных работ составляются планы и разрезы, отражающие условия залегания морфологию и строение полезных ископаемых, выясняется качественная характеристика полезного ископаемого, и подсчитываются его запасы. По совокупности полученных данных производится геолого-экономическая оценка месторождения как возможной минерально-сырьевой базы горнодобывающей промышленности. Решение всех этих задач создает условия для планомерного, рационального и научно обоснованного использования недр, обеспечивает полноту их изучения и потребности страны в минеральном сырье [1].

Геологоразведочные работы представляют собой начальное звено горнодобывающей отрасли промышленности. Предметом труда для нее являются недра, а продуктом труда – разведанные

и оцененные в недрах запасы минерального сырья. Вследствие специфических особенностей объектов исследований труд геологов далеко не всегда приводит к желаемому конечному результату. Только по завершении полного комплекса геологоразведочных работ труд разведчика получает материальную оценку, овеществляясь в разведанных запасах полезного ископаемого. В этом случае запасы приобретают потребительную стоимость и могут служить предметом труда, удовлетворяя потребности общества.

Как отрасль материального производства геологоразведочные работы развиваются по законам политической экономики, а их проведение и планирование регулируются законами отраслевой экономики.

Успешное проведение геологоразведочных работ возможно только на достоверной научно-методологической основе, создание которой входит в задачу учения о разведке недр. Основоположник учения о разведке недр В.М. Крейтер определил его как самостоятельную прикладную геолого-экономичес-кую науку.

Основная цель учения о разведке недр сводится к разработке научно обоснованных методов наиболее эффективного выявления промышленной значимости природных скоплений полезных ископаемых и методов их геолого-экономической оценки.

Предметом изучения разведки недр служат локальные участки земных недр, содержащие природные скопления полезных ископаемых, которые могут рассматриваться как возможные источники минерального сырья для удовлетворения потребностей народного хозяйства.

Основной метод познания разведки недр – моделирование месторождений и важнейших свойств полезных ископаемых на основе выборочных геологоразведочных данных, с последующей количественной геолого-экономической оценкой изучаемого объекта.

Научные основы разведки недр включают систему основных идей, отражающих объективные законы развития геологических процессов, приводящих к образованию полезных ископаемых, закономерности их пространственного размещения в геологических структурах, принципы и научно обоснованные

приемы изучения неоднородности строения недр, основы моделирования месторождений и свойств полезных ископаемых в недрах. Знание геологических основ обеспечивает целенаправленное развитие разведочных работ, локальное прогнозирование масштабов возможных скоплений минерального сырья и правильную оценку запасов полезных ископаемых в пределах разведанных площадей и глубин. Знание методологических основ необходимо для эффективного проведения геологоразведочных работ и оценки их результатов, с учетом влияния конкретных условий горной технологии и разведки на наблюдаемые характеристики пространственной изменчивости свойств полезных ископаемых в недрах.

1.1.1. Виды полезных ископаемых и комплекс требований к их изученности в недрах

Полезными ископаемыми называются природные минеральные вещества в земной коре, которые при существующем уровне развития производительных сил пригодны для промышленного использования. Извлеченные из недр, они представляют собой минеральное сырье.

По содержанию и назначению твердые полезные ископаемые разделяются на рудные, нерудные и горючие. Особую группу образуют жидкие и газообразные полезные ископаемые.

Рудные полезные ископаемые содержат минералы или минеральные соединения, которые при существующем уровне развития техники и экономики служат источниками получения различных химических соединений или элементов (металлические, химические и агрономические руды).

Нерудными называются полезные ископаемые, продуктами переработки которых являются минералы или кристаллы (абразивы, диэлектрики, драгоценные или поделочные камни, пьезо- и оптические минералы), а также полезные горные породы, которые используются промышленностью без существенной переработки (флюсы, огнеупоры, строительные и керамические материалы).

К числу твердых горючих полезных ископаемых относятся угли, горючие сланцы, асфальтиты и озокериты.

Среди жидких и газообразных полезных ископаемых выделяются: горючие полезные ископаемые (нефть, горючие газы); пресные, минеральные, соленые и нефтяные воды и инертные газы.

Месторождениями полезных ископаемых называются пространственно-обособленные скопления минеральных веществ в земной коре, которые в количественном и качественном отношениях отвечают современным требованиям промышленности и по совокупности природных условий пригодны для промышленного использования. Крупные и средние месторождения могут служить минерально-сырьевой базой самостоятельного горнодобывающего предприятия.

Минеральные скопления в земной коре становятся месторождениями только при условии экономической целесообразности их промышленного использования. Важнейшими критериями их промышленной ценности являются:

– качество и количество минерального сырья в недрах;

– технологические свойства минерального сырья;

– горно-геологические условия эксплуатации месторождения;

– географо-экономическое положение месторождения.

Совокупность перечисленных критериев определяет комплекс требований к изученности запасов минерального сырья в недрах.

Качество минерального сырья зависит от его химических, физических и технических свойств, совокупностью которых определяется способность полезного ископаемого удовлетворять потребности общественного производства, а также от условий его промышленного использования и технологии переработки.

Качество металлических, химических и агрономических руд определяется их вещественным (химическим и минеральным) составом и характеризуется содержаниями полезных компонентов и вредных примесей.

Содержание полезных компонентов (элементов или полезных минералов) выражается весовыми процентами в расчете на воздушно-сухую руду. Выбор единиц измерения зависит от ве-

щественного состава, условий технологической переработки и дальнейшего использования руд. Качество руд определяется процентным содержанием металлов (железо, марганец, молибден, кобальт, никель, медь, свинец, цинк, олово, ртуть, сурьма, мышьяк, золото, серебро, платина) или окислов соответствующих элементов (WO_3; V_2O_5; LiO_2; BeO; Nb_2O_s; Ta_2O_5; TiO_2; ZrO; K_2O; B_2O_3; Cr_2O_3; P_2O_5; SrO).

Качество рудоносных песков в россыпях выражается обычно в весовых единицах полезных компонентов на 1 $м^3$ песков.

Вредные примеси оказывают существенное влияние на оценку качества некоторых руд. Для руд железа и марганца вредными примесями являются сера и фосфор, для бокситов – кремнезем, сера, для золотых руд – мышьяк, для силикатных никелевых руд – медь, для фосфоритов – магний, для серных руд – общий углерод, битумы, мышьяк и селен.

По содержанию полезного компонента с учетом требований промышленности и существующих технологических схем их переработки выделяются богатые, рядовые и бедные руды (табл. 1.1). Богатые руды обычно хорошо перерабатываются и требуют меньшего количества обогатительных операций по сравнению с рядовыми и бедными рудами. Иногда они поступают непосредственно в металлургический передел, минуя стадию обогащения (например, богатые мартитовые или сидеритовые руды с содержанием железа более 50 %).

Таблица 1.1

Группировка различных видов минерального сырья по качеству

Вид минерального сырья	Ведущий полезный компонент	Качественная характеристика минерального сырья (руд)		
		богатые	рядовые	бедные
Железо	Fe	>50 %	50–30 %	30–22 %
Флюорит	CaF_2	>50 %	35–50 %	35–14 %
Хром	Cr_2O_5	>45 %	30–45 %	30–24 %
Фосфориты	P_2O_5	>25 %	16–25 %	16–8 %
Сурьма	Sb	Десятки процентов	Проценты	Доли процента

продолжение табл. 1.1.

Полиметаллы Медь, олово	Pb, Zn Cu, Sn	Проценты	Десятые доли процента	Первые десятые доли процента
Молибден Вольфрам, ртуть Кобальт, ниобий Литий, уран	Mo WO_3, Hg Co, Nb_2O_5 Li_2O, U	Первые проценты, десятые доли процента	Первые десятые доли процента	Сотые доли процента
Редкие земли, бериллий, тантал	TR BeO, Ta_2O_5	Десятые доли процента	Сотые доли процента	Первые сотые доли процента
Золото	Au	>15 г/т	5–15 г/т	Первые граммы на тонну
Алмазы	Алмаз	Более одного карата на 1 т*	Десятые доли карата на 1 т	Первые десятые доли карата на 1 т

* 1 карат равен 0,2 г.

Качество полезных минералов и кристаллов определяется: содержаниями полезных минералов и совокупностью показателей, характеризующих их специфические физические свойства (прочность, гибкость, длину волокна и кислоторастворимость для асбеста, размер пластинок, их ровность, наличие проколов и термостойкость для слюд, оптические свойства, размеры, качество кристаллов для пьезооптического сырья и т. д.).

Качество полезных горных пород оценивается по совокупности тех технических свойств, которыми определяется их промышленная ценность. Для оценки качества горючих полезных ископаемых первостепенное значение имеет их теплотворная способность и ряд других специфических свойств.

Качество минерального сырья существенно повышается, когда в его составе присутствуют несколько полезных компонентов. Если извлекаемые полезные компоненты сопоставимы

по своей ценности, то минеральное сырье называется комплексным. Кроме комплекса основных полезных компонентов в составе минерального сырья часто присутствуют многочисленные сопутствующие полезные компоненты в виде элементов, образующих собственные минеральные формы или рассеянные элементы. Для эффективного использования минерального сырья в народном хозяйстве для каждого его вида промышленностью устанавливаются качественные показатели, при которых экономически целесообразно использование данного вида сырья.

Количество минерального сырья определяется его массой. Промышленное использование находящегося в недрах минерального сырья целесообразно только в тех случаях, когда его количество превышает некоторый минимальный предел.

Запасом полезного ископаемого называется количество минерального сырья в недрах, отвечающего по своему качеству современным требованиям промышленности. Запасы всех коренных месторождений полезных ископаемых выражаются массой руды. Для тех видов минерального сырья, которые после добычи подвергаются процессу обогащения, обычно подсчитываются и запасы полезных компонентов в руде. В зависимости от вида минерального сырья и масштабов полезной минерализации запасы полезных ископаемых в отдельных месторождениях изменяются от миллиардов тонн до килограммов. Запасы россыпных месторождений учитываются кубическими метрами рудоносных песков, а запасы полезных компонентов в них – весовыми единицами. Масштабы месторождений полезных ископаемых определяются запасами минерального сырья. В зависимости от масштабов выделяются уникальные, крупные, средние и мелкие месторождения (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Группировка месторождений различных твердых полезных ископаемых по масштабу

Полезные ископаемые	Масштабы месторождений, т			
	уникальные	крупные	средние	мелкие
Железные руды	$>10^9$	$1\cdot10^9$–$3\cdot10^8$	$3\cdot10^8$–$5\cdot10^7$	$<5\cdot10^7$
Апатиты	–	$>2\cdot10^8$	$2\cdot10^8$–$5\cdot10^7$	$<5\cdot10^7$
Марганцевые	$>2{,}5\cdot10^8$	$2{,}5\cdot10^8$–$7{,}5\cdot10^7$	$7{,}5\cdot10^7$–$2{,}5\text{-}10^7$	$<2{,}5\cdot10^7$
руды Бокситы	$>2\cdot10^8$	$2\cdot10^8$–$1\cdot10^8$	$1\cdot10^8$–$2{,}5\cdot10^7$	$<2{,}5\cdot10^7$
Медь	$>5\cdot10^6$	$5\cdot10^6$–$1\cdot10^6$	$1\cdot10^6$–$1\cdot10^5$	$<1\cdot10^5$
Свинец	$>1\cdot10^6$	$1\cdot10^6$–$3\cdot10^5$	$3\cdot10^5$–$1\cdot10^5$	$<1\cdot10^5$
Молибден	$>1\cdot10^5$	$1\cdot10^5$–$2\cdot10^4$	$2\cdot10^4$–$5\cdot10^3$	$<5\cdot10^3$
Олово	$>5\cdot10^4$	$5\cdot10^4$–$1{,}5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^4$–$3\cdot10^3$	$<3\cdot10^3$
Сурьма	–	$>3\cdot10^4$	$3\cdot10^4$–$1\cdot10^4$	$<1\cdot10^4$
Ртуть	$>1{,}5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^4$–$3\cdot10^3$	$3\cdot10^3$–$1\cdot10^3$	$<1\cdot10^3$
Золото	$>1\cdot10^2$	$1\cdot10^2$–$5\cdot10$	$5\cdot10$–$1\cdot10$	<10
Исландский шпат	–	>1	1–10^{-1}	$<10^{-1}$

Уникальные месторождения единичны во всем мире. Крупные месторождения насчитываются десятками в мире. Ими определяются минерально-сырьевые базы ведущих предприятий горнорудной промышленности. Средние месторождения служат минерально-сырьевой базой рядовых предприятий. Мелкие месторождения не имеют самостоятельного промышленного значения. Горные предприятия могут создаваться только на базе нескольких таких месторождений.

Качественная и количественная характеристики запасов полезных ископаемых тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Изменение качественной характеристики приводит к изменению запасов полезных компонентов и полезной горной массы. Чем меньше установленное предельное содержание металла, тем больше размеры залежей, запасы руды и запасы металла. Повышение нижнего предела содержания металла улучшает качество руды, но приводит к сокращению размеров залежей и к уменьшению суммарных запасов (рис. 1.1).

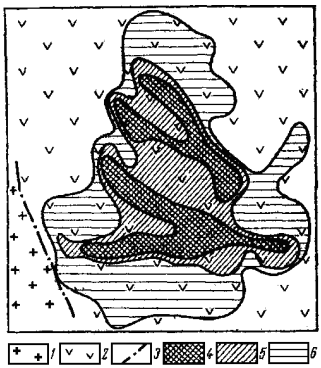


Рис. 1.1. Изменение площадных запасов штокверкоподобного месторождения и качества руд в зависимости от оконтуривания их по различным предельным содержаниям металла:
1– граниты; 2 – монцониты; 3 – тектоническое нарушение; 4 – рудные скопления, оконтуренные по содержанию условного металла 3 %; 5 – то же, по содержанию 1 %; 6 – то же, по содержанию 0,5 %. Среднее содержание условного металла в контуре; 4 –5 %, площадной запас 1600 ед. Среднее содержание условного металла в контуре 4+5 –2,9 %, площадной запас 2650 ед. Среднее содержание условного металла в контуре 4+5+6 – 1,5%, площадный запас 4720 ед.

Сведения о содержаниях полезных компонентов без упоминания опробованных мощностей, на которые эти содержания распространяются, не имеют практического смысла. В отрыве друг от друга любой из упомянутых показателей не позволяет высказать даже самого общего суждения о промышленной ценности разведуемого минерального скопления.

Единство и взаимообусловленность качественной и количественной характеристик минерального сырья требуют при оценке месторождений их одновременного учета. Наиболее ценными для народного хозяйства оказываются не те месторождения, которые содержат самые богатые руды, а те, которые обеспечивают максимальные масштабы производства и минимальную себестоимость продукции. Чаще всего к ним относятся крупные месторождения рядовых руд.

Технологические свойства минерального сырья определяют возможность и экономическую целесообразность его переработки с целью извлечения всех полезных компонентов.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных компонентов и вредных примесей первостепенное значение имеют:

– минеральный состав сырья, распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам, формы и размеры полезных минералов, характер их срастаний друг с другом, с породообразующими и жильными минералами, текстуры и структуры минеральных агрегатов

– физические свойства минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельные массы;

– химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Минеральным составом сырья определяется комплекс содержащихся в нем полезных компонентов, а от распределения полезных компонентов по минеральным составляющим зависят технологические схемы и технико-экономические показатели его переработки. Так, например, сульфиды молибдена и сурьмы хорошо флотируются, а сурьмяные и молибденовые охры с трудом извлекаются физическими методами или полностью теряются при обогащении окисленных руд. Олово, связанное со станином, в отличие от касситерита, не поддается извлечению при переработке оловянных руд. Железо, связанное с магнетитом, полностью выплавляется из руд, в то время как железо, заключенное в силикатах, остается и практически теряется.

От форм и размеров рудных минералов, характера их сочетаний, текстур и структур минеральных агрегатов зависит оптимальная степень дробления руд, обеспечивающая их вскрытие и показатели извлечения полезных компонентов в соответствующие концентраты. Тонковкрапленные руды с тесным взаимным прорастанием отдельных минералов или руды с колломорфными структурами отличаются трудной обогатимостью. Они требуют весьма тонкого измельчения, в результате чего резко по-

вышается количество шлама в пульпе, снижаются показатели извлечения и ухудшается качество концентратов.

Влияние состава вмещающих пород или жильных масс особенно отчетливо проявляется при гидрометаллургическом переделе руд. Так, например, повышенная карбонатность пород снижает эффективность кислотных методов выщелачивания, повышая расход кислоты на тонну перерабатываемой руды.

Горно-геологические условия эксплуатации месторождения определяют возможность и экономическую целесообразность его разработки с учетом современного состояния горной технологии. Горно-геологические условия эксплуатации зависят от совокупности частных условий, из которых помимо запасов минерального сырья главное значение имеют:

– размеры, морфологические особенности, строение и условия залегания тел полезных ископаемых, определяющие наиболее целесообразные способы их разработки;

– продуктивность месторождения, характеризующая степень сосредоточения полезного ископаемого в отдельных телах и месторождениях в целом. Продуктивность обычно выражается удельным запасом полезного ископаемого, приходящимся на единицу площади или на один метр углубки месторождения;

– гидрогеологические условия месторождения;

– физико-механические свойства полезных ископаемых и вмещающих пород, их устойчивость, трещиноватость, крепость, твердость, буримость, кусковатость, влажность и др.;

– факторы, осложняющие эксплуатацию месторождения и требующие проведения специальных мероприятий: развитие карста, повышенная газоносность месторождения, склонность пород к оплыванию в увлажненном состоянии или к самовозгоранию и др.

Совокупным влиянием перечисленных условий определяются основные технико-экономические показатели горно-добычных работ, себестоимость добычи тонны минерального сырья и полезных компонентов с учетом их потерь разубоживания руд в процессе отработки месторождения.

Географо-экономическое положение месторождения существенно влияет на уровень затрат, связанных со строительством

горного предприятия, и на сроки освоения капитальных вложений. Поэтому для более рационального размещения промышленности в первую очередь должны использоваться природные ресурсы, доступные для быстрого освоения и дающие наибольший народно-хозяйственный эффект.

При решении вопроса о промышленной значимости месторождения все перечисленные выше условия требуют обязательной оценки. Недоучет любого из них неизбежно приводит к серьезным просчетам и осложнениям в процессе промышленного освоения месторождения.

1.1.2. Требования производства к проведению геолого-разведочных работ и основные принципы разведки недр

Стадии геолого-разведочных работ

Основное требование общественного производства к проведению геолого-разведочных работ, как и к любой другой отрасли материального производства, сводится к требованию их максимальной эффективности, т. е. к необходимости достижения максимальных результатов при минимальных затратах времени и труда.

О результативности разведки судят по выявленной природной ценности месторождения и по достигнутой степени разведанности запасов в недрах. Чем выше выявленная природная ценность месторождения и достовернее оценка разведанных запасов, ниже уровень затрат и короче срок разведочных работ, тем выше эффективность разведки.

Повышению народнохозяйственной ценности месторождения способствуют:

– полное выявление масштабов полезной минерализации;

– всестороннее изучение качества и технологических свойств полезного ископаемого с выявлением полного комплекса основных и сопутствующих полезных ископаемых и компонентов.

Достоверность геолого-экономической оценки разведанных запасов возрастает при:

– увеличении детальности геолого-разведочных работ;

– рациональном комплексировании геологических, геофизических и геохимических методов исследований;

– полном использовании информации, полученной по всем видам геолого-разведочных работ.

При реализации требования максимальной эффективности условие полноты исследований приходит в противоречие со стремлением к максимальному ограничению затрат. В оптимальном варианте объем геологоразведочных работ должен быть минимальным по затратам времени и труда, но достаточным для уверенного решения всех поставленных задач.

Для выполнения требования максимальной эффективности разведку месторождения следует продолжать до тех пор, пока затраты на дополнительно получаемую информацию окупаются приростом ожидаемой прибыли от реализации продукции горного предприятия, в связи с уменьшением риска экономических потерь. Практически это означает, что чем больше масштаб и промышленная ценность месторождения, тем полнее и детальнее должен быть комплекс проводимых на нем геолого-разведочных работ. С уменьшением масштабов, усложнением условий залегания и геологического строения месторождений, экономически целесообразно ограничивать детальность геолого-разведочных работ и, соответственно, сокращать затраты на их проведение.

Методологические подходы к использованию получаемой геологической информации и определению рациональной последовательности геолого-разведочных работ определяются принципом аналогий и принципом последовательных приближений. По выборочным результатам геологоразведочных работ нельзя получить исчерпывающих данных о свойствах и строении полезных ископаемых в недрах. Фактические наблюдения ограничиваются разведочными выработками, а окружающие их объемы недр остаются неисследованными. Для суждения о свойствах и строении полезного ископаемого в промежутках между разведочными выработками и за их пределами необходимо привлечение дополнительной информации, которая может

быть получена только по принципу аналогии с другими сходными месторождениями.

Использование принципа аналогии основано на том, что однотипные месторождения, сформированные в близких геологических условиях, обладают более или менее ярко выраженными чертами сходства условий залегания, морфологии и строения полезных ископаемых. Это обеспечивает подобие характеристик изменчивости важнейших свойств месторождения-эталона и вновь разведуемого месторождения. Еще в большей степени подобие свойств проявляется для смежных участков одного и того же месторождения и тем более для смежных участков одной и той же залежи.

Решение геолого-разведочных задач предполагает необходимость использования самых различных эталонов – от классификаций, систематизирующих основные черты геологического строения рудных полей и месторождений, до геолого-математических эталонов, описывающих количественные характеристики изменчивости свойств полезных ископаемых в масштабах отдельных зон, тел или участков.

Для реализации принципа аналогии в процессе проведения геологоразведочных работ производится выборочная детализация наблюдений в пределах типичных участков разведуемого месторождения. Участки выборочной детализации разведуются по значительно более густой сети и рассматриваются как эталоны, характеризующие детали строения полезных ископаемых в малых объемах. При оценке результатов разведочных работ представления об их строении по принципу аналогии распространяются на разведанный объем недр.

С позиций принципа аналогии создание эталонов-аналогов необходимо на любой стадии геолого-разведочных работ.

Согласно принципу последовательных приближений изучение объекта исследований, должно осуществляться постепенно – от общего к частному. Сначала выявляются самые общие, наиболее существенные геологические закономерности, а затем переходят к исследованиям деталей, необходимых для решения поставленных перед разведкой задач. Для осуществления принципа последовательных приближений геолого-разведочный

процесс разделяется на ряд последовательных стадий и операций, на каждой из которых объект исследования, изучается со все возрастающей детальностью. По мере развития геологоразведочных работ все они образуют цепь последовательных приближений в познании геологического строения недр.

Изучение начинается с выявления геологических закономерностей, определяющих размещение месторождений в структурах минерализованных полей и крупных залежей, в структурах месторождений. Затем выясняются условия залегания отдельных тел полезных ископаемых и их морфологические особенности, после переходят к изучению структур тел полезных ископаемых и, наконец, к детализации сведений о внутреннем строении их отдельных участков.

Действующее положение о стадийности геологоразведочных работ учитывает требования принципа последовательных приближений. Изучение недр начинается с региональных геолого-геофизических работ, за которыми следует стадия поисков месторождений полезных ископаемых. Все выявленные проявления полезных ископаемых изучаются последовательно, проходя стадии предварительной и детальной разведок. Дальнейшая их разведка проводится в условиях действующего горного предприятия.

Первые разведочные операции проводятся уже в конце поисковой стадии – в подстадию поисково-оценочных работ. На этой подстадии отбраковываются явно не промышленные проявления, определяются прогнозные запасы перспективных объектов и устанавливается их принадлежность к тому или иному геолого-промышленному типу.

На стадии предварительной разведки выясняются общие масштабы полезной минерализации, среднее качество минерального сырья в недрах, а на участках выборочной детализации наблюдений устанавливаются важнейшие особенности строения залежей. По совокупности этих данных решается вопрос о целесообразности и очередности промышленного использования данного месторождения. Основная задача предварительной разведки заключается в изучении состава и внутреннего строения

минерализованных зон или очень крупных залежей и оценке содержащихся в них запасов.

В стадии детальной разведки выясняются все сведения, необходимые для проектирования горного предприятия и начала отработки месторождения. В качестве объектов непосредственного изучения рассматриваются уже не минерализованные зоны, а отдельные слагающие их залежи полезных ископаемых, а на эталонных участках изучаются детали их строения. Основная задача детальной разведки сводится к выявлению особенностей состава и строения залежей полезных ископаемых как самостоятельных объектов отработки и оценке содержащихся в них запасов.

В условиях действующих горных предприятий продолжаются поиски и разведка новых залежей на флангах и глубоких горизонтах месторождения (в пределах и в непосредственной близости горного отвода), а на эксплуатируемых участках одновременно с разработкой месторождения проводится эксплуатационная разведка для выявления деталей строения полезного ископаемого и оценки запасов полезных ископаемых в пределах отдельных эксплуатационных единиц-этажей, панелей, блоков или уступов.

1.1.3. Основы учета и классификации запасов

В соответствии с законодательством РК о недрах все работы по геологическому изучению недр подлежат государственной регистрации и учету в целях максимального обобщения и использования полученных результатов.

Разведанные и подсчитанные запасы всех видов полезных ископаемых (за исключением месторождений строительных материалов и минерального сырья для предприятий местного значения) подлежат рассмотрению и утверждению в Государственной комиссии «По запасам полезных ископаемых» (ГКЗ), а строительные материалы и местное минеральное сырье – в территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых.

Государственный учет запасов полезных ископаемых производится геологическим фондом. С этой целью составляется

государственный кадастр месторождений, а по каждому виду минерального сырья ежегодно составляются сводные балансы запасов полезных ископаемых.

Государственный кадастр содержит сведения по каждому месторождению полезных ископаемых, характеризующие количество и качество запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов, горно-геологические условия отработки и геолого-экономическую его оценку, а также сведения по каждому проявлению полезных ископаемых.

В государственных балансах содержатся сведения:

– о запасах в недрах по всем выявленным месторождениям и горным предприятиям;

– о запасах, утвержденных ГКЗ;

– о ежегодной добыче и потерях минерального сырья в недрах;

– об обеспеченности действующих и строящихся горных предприятий разведанными запасами данного вида минерального сырья.

Учет и подсчет запасов производятся в соответствии с едиными принципами, установленными классификацией запасов месторождения полезных ископаемых. Согласно этой классификации запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются раздельно для каждого вида минерального сырья. В комплексных рудах, помимо главных компонентов, обязательному учету и подсчету подлежат все промышленно-ценные сопутствующие компоненты, а также полезные вмещающие породы.

Качество полезных ископаемых при подсчете запасов определяется в зависимости от их назначения и технологии переработки с учетом необходимости наиболее полного и комплексного использования основных и сопутствующих ценных компонентов.

Запасы полезных ископаемых подсчитываются и учитываются по наличию их в недрах без вычета потерь при добыче, обогащении и переработке, а состав и свойства полезного ископаемого определяются в природном состоянии, независимо от возможного разубоживания при добыче. Это требование классификации диктуется необходимостью получения показателей,

не зависящих от качества и технического уровня работ горнодобывающего и перерабатывающего предприятия.

Запасы полезных ископаемых разделяются по народнохозяйственному значению и по степени их разведанности. По народнохозяйственному значению запасы полезных ископаемых разделяются на две группы, подлежащие самостоятельному учету, – балансовые и забалансовые.

В группу балансовых запасов включаются запасы .полезных ископаемых, использование которых экономически целесообразно в настоящее время. Балансовые запасы должны удовлетворять всем требованиям промышленности по качеству, количеству и технологическим свойствам минерального сырья, а также по горно-геологическим и географо-экономическим условиям месторождения.

В группу забалансовых запасов включаются запасы полезных ископаемых, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно вследствие: малого их количества, малой мощности залежей, низких содержаний ценных компонентов, сложности условий эксплуатации, необходимости применения сложных и дорогостоящих процессов технологической переработки минерального сырья или неблагоприятных географо-экономических условий месторождения. Обязательным условием отнесения запасов в группу забалансовых является реальная возможность их промышленного освоения в ближайшем будущем.

Разделение запасов полезных ископаемых на группы балансовых и забалансовых производится по совокупности требований промышленности, обоснованных технико-экономическими расчетами. Совокупность таких требований применительно к условиям каждого конкретного месторождения называется промышленными кондициями. Кондиции к подсчету запасов разведуемых месторождений включают предельно допустимые нормы качества и количества минерального сырья, требования к его технологическим свойствам и к горно-геологическим условиям эксплуатации месторождения с учетом его географо-экономического положения, условий разработки и переработки полезного ископаемого.

По мере изучения месторождения, совершенствования горной технологии добычи и переработки минерального сырья, а также в связи с изменением экономики района месторождения и данной отрасли минерального сырья возникает периодическая необходимость в пересмотре и совершенствовании кондиций, что способствует вовлечению забалансовых запасов в промышленное освоение и переводу их в группу балансовых запасов.

По степени разведанности запасы полезных ископаемых разделяются на категории А, В, C_1 и C_2. Запасы категорий А, В и C_1 называются разведанными, а категории C_2 – предварительно оцененными. Степень разведанности запасов определяется детальностью изучения:

– условий залегания, форм и строения тел полезных ископаемых;

– закономерностей пространственного размещения и соотношений природных типов и технологических сортов минерального сырья;

– закономерностей размещения участков пустых пород и некондиционных скоплений полезного ископаемого в контурах промышленных залежей;

– качества, технологических свойств полезного ископаемого и природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ.

Для отнесения запасов к категории А необходимо полное выяснение условий залегания, форм и строения тел полезного ископаемого, оконтуривание участков, сложенных полезными ископаемыми различных природных типов и технологических сортов, выделение и оконтуривание всех участков пустых пород и некондиционных минеральных скоплений, полное выяснение качества и технологических свойств всех типов и сортов минерального сырья и факторов, определяющих природные условия проведения горно-эксплуатационных работ. Практически это означает, что в пределах каждого подсчетного блока должны быть установлены все местные отклонения в условиях залегания и контурах тел полезных ископаемых, а детальность выяснения морфологичесхих особенностей строения залежей должна обеспечивать только один, единственно правильный вариант

увязки разведочных данных по смежным горным выработкам и скважинам (рис. 1.2). Оценка и оконтуривание запасов категории А производятся по предельно густой сети разведочных выработок только путем интерполяции данных между смежными пересечениями.

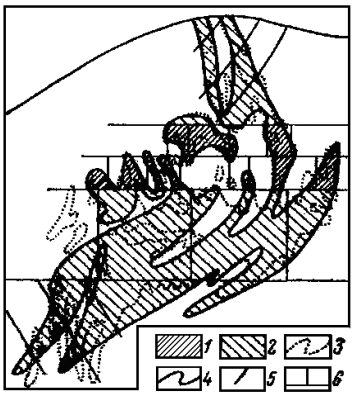


Рис. 1.2. Схема, иллюстрирующая деятельность разведки запасов категорий А и В:
1 – запасы категории А; 2 – запасы категории В; 3 – истинные контуры рудной залежи; 4 – контуры разведанных запасов; 5 – разведочные скважины; 6 – разведочные горные выработки

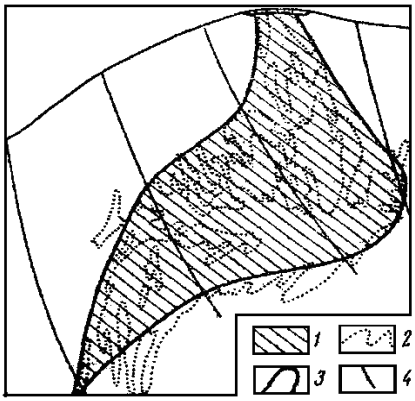


Рис. 1.3. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категории C_1:
1 – запасы категория C_1; 2 – истинные контуры рудной залежи; 3 – контуры разведанных запасов; 4 – разведочные скважины

Для отнесения запасов к категории В достаточно выяснить основные особенности условий залегания, форм и строения тел полезных ископаемых, основные закономерности пространственного размещения участков, сложенных полезными ископаемыми различных природных типов и технологических сортов, также участков пустых пород и некондиционных минеральных скоплений в контурах промышленной минерализации (см. рис. 1.2), оценить среднеблочные содержания полезных компонен-

тов, основные технологические свойства минерального сырья и основные природные факторы, определяющие условия ведения горно-эксплуатационных работ. Запасы категории В должны быть, разведаны и изучены с детальностью, исключающей возможность существенного изменения представлений об условиях залегания полезных ископаемых, строении залежей и характере их взаимоотношений с вмещающими породами. Оценка и оконтуривание запасов категории В проводятся по регулярной разведочной сети путём интерполяции разведочных данных между смежными пересечениями. При сравнительно простом геологическом строении залежей допускается незначительное распространение данных за пределы разведанного объема.

Для отнесения запасов к категории C_1 достаточно, чтобы условия залегания, формы и строения тел полезных ископаемых, пространственное расположение и соотношение участков, сложенных полезными ископаемыми различных природных типов и технологических сортов, расположение участков пустых пород, а также технологические свойства минерального сырья и горно-геологические условия эксплуатации месторождения были выяснены только в общих чертах. Это значит, что для характеристики морфологических особенностей залежей достаточно установить их средние размеры по падению и простиранию, выявить средние значения мощностей и среднеблочных содержаний полезных компонентов, установить элементы залегания и взаимоотношения с вмещающими геологическими структурами. Необходимо также установить, содержатся ли в общем контуре полезные ископаемые различных природных типов и технологических сортов, участки или зоны, сложенные пустыми породами или некондиционными минеральными скоплениями. Для оценки запасов категории C_1 не требуется оконтуривание безрудных участков и участков, сложенных полезными ископаемыми различных типов и сортов, а достаточно только определить их количественные соотношения в общем контуре промышленной минерализации (рис. 1.3).

При сложном геологическом строении месторождений и отдельных тел полезных ископаемых запасы категории C_1 оцениваются и оконтуриваются по данным регулярной редкой сети

разведочных горных выработок или скважин. При сравнительно простом строении залежей оценка и оконтуривание запасов категории C_1 возможны путем ограниченного распространения данных, полученных в пределах детально разведанных участков на примыкающие к ним участки залежей с учетом совокупности геолого-физических наблюдений.

Предварительно оцененные запасы категории C_2 характеризуются низкой степенью разведанности. Их оценка дается по совокупности геологических наблюдений и геофизических данных, подтвержденных вскрытием и опробованием залежи полезного ископаемого в единичных разведочных пересечениях (рис. 1.4). Когда неразведанные участки залежей полезных ископаемых непосредственно примыкают к участкам разведанных запасов, запасы категории C_2 могут оцениваться по аналогии с разведанными участками без проведения разведочных выработок (рис. 1.5).

При оценке запасов категории C_2 решающее значение имеет правильное понимание закономерностей локализации оруденения в конкретных геологических структурах, поскольку условия залегания, форма и строение тел полезных ископаемых, качество и другие свойства минерального сырья устанавливаются в данном случае по геологическим соображениям. Контуры запасов категории C_2 проводятся в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород.

Кроме разведанных и предварительно оцененных запасов в практике геологоразведочных работ определяются так называемые прогнозные запасы. Прогнозные запасы служат для оценки потенциальных возможностей рудных месторождений, полей и районов на основе общих геологических и металлогенических представлений. В отливе от запасов категорий A, B, C_1 и C_2, прогнозные запасы не геометризуются (т. е. не оконтуриваются в недрах), но определяются в цифровом выражении.

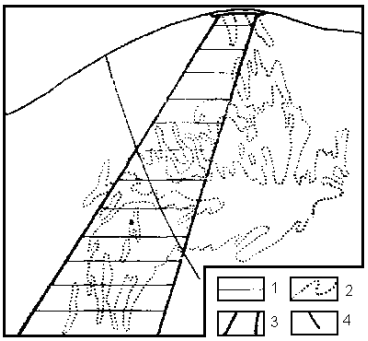


Рис. 1.4. Схема, иллюстрирующая детальность разведки запасов категории C_2 на основании единичных разведочных пересечений.

1 – запасы категории C_2; 2 – истинные контуры рудной залежи; 3 – контуры разведанных запасов; 4 – разведочные скважины

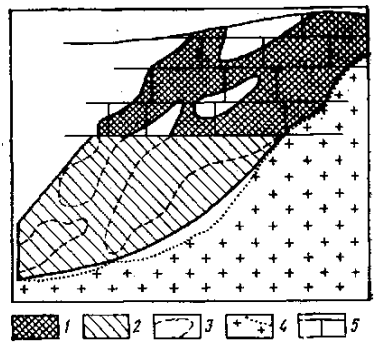


Рис. 1.5. Схема, иллюстрирующая возможность оконтуривания запасов категории C_2 по аналогии с детально изученными участками.

1 – детально разведанные запасы; 2– предварительно оцененные запасы (категория C_2); 3 – истинные контуры залежи; 4 – граниты и их контакт с вмещающими породами; 5 – горные выработки

Иногда прогнозные запасы выражаются двумя цифрами, которые определяют диапазон их наиболее вероятных значений, а содержания полезных компонентов прогнозируются в качественной форме (бедное, рядовое, богатое сырье). При оценке прогнозных запасов различают запасы рудных месторождений, рудных полей и рудоносных районов.

При детальной разведке новых месторождений в зависимости от сложности их геологического строения, классификацией запасов установлены оптимальные соотношения разведанных запасов категорий А, В и C_1. С этой целью месторождения полезных ископаемых разделяются на три группы.

К первой группе относятся месторождения простого строения выдержанной мощностью тел полезных ископаемых и равномерным распределением полезных компонентов.

Ко второй группе относятся месторождения сложного строения невыдержанной мощностью тел полезных ископаемых или с неравномерным содержанием полезных компонентов.

К третьей группе относятся месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью тел полезных ископаемых или с исключительно невыдержанным строением полезных компонентов.

Соотношения разведанных запасов категории А, В, C_1 при детальной разведке месторождений различных групп (табл. 1.3).

При подготовке месторождений второй и третьей групп к промышленному освоению горно-геологические условия их будущей эксплуатации, качество и технологические свойства минерального сырья должны быть изучены в процессе детальной разведки полностью, с детальностью, достаточной для составления проекта горнодобывающего предприятия.

Таблица 1.3

Соотношение запасов категорий А, В и C_1 (в %) при детальной разведке месторождений полезных ископаемых

Группа месторождения	Соотношение разведанных запасов категорий		
	А	В	C_1
Первая	Не менее 10	20	70
Вторая	–	20	80
Третья	–	–	100

На разрабатываемых месторождениях рациональные соотношения запасов категорий А, В, C_1 устанавливаются для каждого горнодобывающего предприятия в пропорциях, обеспечивающих нормальное ведение горно-подготовительных и очистных работ в соответствии с его производственным планом.

1.1.4 Критерии степени разведанности запасов

Действующая классификация предусматривает использование только качественных критериев степени разведанности за-

пасов, роль которых играют категории запасов. Количественная оценка степени разведанности запасов представляет собой сложную задачу, так как вследствие выборочного характера геолого-разведочной информации она может быть получена только путем сопоставления модели разведанного месторождения с моделью, которая будет создана по результатам его вскрытия и отработки. Знать же эту оценку нужно уже к моменту завершения геолого-разведочных работ. Кроме того, до сих пор не выработано единого подхода к выбору показателей количественной оценки степени разведанности запасов.

Трудности, связанные с получением сравнительных оценок степени разведанности запасов, преодолеваются двумя путями:

– созданием типизированных геолого-математических моделей отработанных месторождений – аналогов данного геолого-промышленного типа;

– созданием эталонов в пределах типичных участков разведуемых месторождений путем выборочной детализация разведочной сети.

Чем больше сходство разведуемого месторождения и месторождения-аналога, чем ближе расположены эталонные участки данного месторождения к оцениваемым участкам недр и отчетливее их подобие, тем достовернее окажутся количественные оценки ожидаемых погрешностей подсчета запасов разведуемого месторождения.

Пределы допустимых погрешностей в оценке количества и качества полезного ископаемого в недрах для различных категорий запасов действующей классификацией не устанавливаются. Это связано с тем, что категория запасов определяется густотой сети наблюдений, в то время как точность подсчета запасов зависит, прежде всего, от количества наблюдений в пределах разведанного участка недр и в меньшей степени – от густоты сети наблюдений. При разной густоте сети, но при сопоставимом числе наблюдений в блоках разных размеров, погрешности вычисления среднеблочных оценок могут быть примерно одинаковыми, в то время как степень разведанности блоков будет резко различаться.

Понятия разведанности и точности подсчета запасов могли бы рассматриваться как взаимозависимые только при условии последовательной детализации разведочных данных в блоке установленного размера, когда с уменьшением расстояний между смежными точками наблюдений их количество в блоке закономерно возрастает. В практике разведки это условие обычно не выполняется. При детализации разведочных данных подсчетные блоки категории C_1 разделяются на более мелкие блоки категории В, а те в свою очередь на еще более мелкие блоки категории А. Поэтому функциональные связи между числом наблюдений и густотой разведочной сети не возникают.

При оценке достоверности результатов разведочных работ необходимо различать степень разведанности запасов и точность их подсчета в заданных объемах недр.

Степень разведанности запасов характеризуется детальностью выявления условий залегания, форм и строения полезных ископаемых, а также условий их пространственного размещения в недрах. Количественно она может быть оценена погрешностями геометризации разведанных скоплений полезного ископаемого в недрах для заданной сети наблюдений.

Точность подсчета запасов может быть охарактеризована погрешностями оценок их качества и количества в оконтуренных объемах недр.

Из определения понятий разведанности и точности подсчета запасов вытекает важный вывод о том, что при переводе запасов из более низких категорий в более высокие повышается не столько точность ранее подсчитанных запасов, сколько выявляются детали их пространственного размещения в пределах более мелких участков и блоков месторождения.

В практике геологоразведочных работ точность подсчета разведанных запасов оценивается для категории А, В или C_1 примерно одной и той же погрешностью, но в зависимости от степени детальности наблюдений эта погрешность относится к различным по величине объемам недр.

1.2. Геологические основы разведки недр

Для научного обоснования методики и направления разведочных работ необходимо знать условия формирования и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых в структурах земной коры. Совокупность этих знаний представляет собой геологические основы разведки месторождений полезных ископаемых.

Изучением условий формирования и закономерностей размещения полезных ископаемых в недрах занимается геология полезных ископаемых. Основная задача этой науки – разработка теории рудообразования, познание геологических и физико-химических условий формирования месторождений и выяснение причин их размещения в конкретных геологических структурах для создания модели процессов рудообразования и генетической классификации месторождений полезных ископаемых.

Современное состояние теории рудообразования еще не позволяет создать такую генетическую классификацию полезных ископаемых, которая исчерпывающе полно удовлетворяла бы запросам практики поисково-разведочных работ. Современные классификации, основанные на совокупности главным образом предполагаемых, а не наблюдаемых признаков, страдают необъективностью, вследствие чего принадлежность конкретных, даже хорошо изученных месторождений к тому ИЛИ иному генетическому подразделению часто остается дискуссионной.

Анализируя мировой опыт геологоразведочных и добычных работ, разведка опирается не только на теорию рудообразования, но в значительной мере на эмпирически установленные геологические закономерности, используя их для решения прикладных задач. К ним относятся:

– сведения о геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых;

– знание структур рудных полей, закономерностей пространственного размещения скоплений полезных ископаемых и их связей с элементами геологического строения минерализованных участков недр;

– особенности физических и геохимических полей минерализованных участков недр;

– сведения о вещественном составе полезных ископаемых и их минералогической зональности.

Совокупность сведений о геолого-промышленных типах месторождений уже изученных и освоенных промышленностью, используется в качестве важнейшей геологической информации при разведке и оценке новых месторождений. Геолого-промышленные типы месторождений рассматриваются как эталоны-аналоги, что способствует эффективному применению принципа аналогии в разведке.

Без знания структур рудных полей и связей полезных ископаемых с элементами строения минерализованных участков недр нельзя создать геологическую основу для научного направления геологоразведочных работ, обеспечить максимальную вероятность обнаружения новых промышленных скоплений и их правильную оценку.

Знание закономерностей строения физических и геохимических полей минерализованных участков недр способствует выяснению структур рудных полей и месторождений, правильной оценке разведанных запасов, прогнозу и выявлению новых участков полезной минерализации.

Сведения о вещественном составе и зональности строения новых ископаемых необходимы для оценки форм проявления полезной минерализации, ее прогноза на флангах и на глубоких горизонтах месторождений, оценки технологических свойств минерального сырья, разработки способов его обогащения, передела и извлечения полезных компонентов.

1.2.1. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых

Основная масса добываемого в мире минерального сырья поступает только из некоторых, численно весьма ограниченных природных типов месторождений, хотя единичные месторождения самых разных генетических типов успешно используются промышленностью. Так, железо добывается из 30 месторожде-

ний, а медь – более чем из 15 месторождений различных генетических типов, в то время как определяющую роль в балансах запасов и в добыче железа играют только пять, а меди – четыре. В связи с этим в практике геологоразведочных работ появилась необходимость особого выделения геолого-промышленных типов месторождений – основных поставщиков минерального сырья, занимающих ведущее место в балансе мировых запасов и добыче каждого вида минерального сырья.

Понятие о промышленных типах месторождений и их классификация по главным видам минерального сырья были предложены В.М. Крейтером в 1940 г. К числу промышленных типов месторождений он относил только такие, которые обеспечивают не менее 1 % мировой добычи данного вида минерального сырья. В понятии промышленный тип объединяются месторождения, зарекомендовавшие себя как устойчивые поставщики данного вида минерального сырья, обеспечивающие экономическую рентабельность их разработки.

Знание промышленных типов месторождений особенно необходимо на ранних стадиях разведочных работ – для предварительного суждения о перспективах промышленной минерализации и для геолого-экономической оценки изучаемых месторождений. Именно на этих стадиях из-за неполноты фактических данных особенно сложно использование принципа аналогии и весьма остро ощущается необходимость в проверенных практикой эталонах.

Единых принципов для выделения промышленных типов месторождений пока что не разработано. Одни геологи принимают за основу генетические признаки, другие – морфологию залежей или минеральный состав полезных ископаемых. Как правило, классификации геолого-промышленных типов месторождений разрабатываются применительно к каждому виду минерального сырья, в результате чего месторождения одного и того же промышленного типа повторяются неоднократно, при рассмотрении различных видов полезных ископаемых. Этот недостаток может быть устранен, если группировать промышленные типы месторождений по формационному принципу, понимая под рудными формациями группы однотипных месторож-

дений, объединенных сходством минерального состава и общностью геологических условий их проявления. Использование формационного принципа способствует повышению геологической информативности прогнозов и более полной оценке вероятного комплекса полезных компонентов. В понятии промышленного типа должны также учитываться технологические, горно-технические и экономические показатели, определяющие промышленную ценность месторождения. Важнейшие промышленные типы рудных месторождений, выделяются по формационному принципу, с учетом:

– характера связи оруденения с элементами геологического строения и типа рудовмещающих структур;

– условий залегания, морфологии и строения рудных залежей;

– вещественного состава руд, определяющего их качество, технологические свойства и комплекс промышленно-ценных металлов.

Совокупностью перечисленных классификационных признаков определяются не только промышленный тип месторождения, но и в значительной мере его поисково-оценочные критерии, методика разведки, а также горно-геологические условия эксплуатации.

Понятие промышленный тип месторождения является понятием историческим. Оно изменяется по мере выявления и разведки месторождений новых генетических типов, усовершенствования технологии и технических средств ведения горных работ. В текущем столетии новые промышленные типы появляются главным образом за счет вовлечения в промышленность месторождений крупных по запасам, но бедных по содержанию полезных компонентов, в то время как богатые по содержанию, но мелкие по масштабу месторождения постепенно теряют свое промышленное значение.

1.2.2 Структуры рудных полей и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых

В пределах минерализованных участков недр рудные скопления концентрируются в месторождениях, а системы пространственно сближенных рудных месторождений образуют рудные поля. Изучению структур рудных полей посвящены исследования А.С. Великого, Ф.И. Вольфсона, А.В. Дружинина, П.Ф. Иванкина, В.М. Крейтера, Л.И. Лукина, А.В. Пэка, Е.Т. Шаталова и других геологов. Рудные поля рассматриваются большинством исследователей как участки земной коры, объединяющие группы пространственно сближенных эндогенных месторождений и отдельных рудных залежей, связанных единством их происхождения и отделенных от других рудоносных участков большими безрудными пространствами.

Изучение структур рудных полей необходимо для понимания закономерностей размещения эндогенных месторождений. Оно способствует выявлению всех приповерхностных рудных залежей и обнаружению рудных скоплений, скрытых на более глубоких горизонтах. Такое изучение особенно необходимо при наличии глубинной зональности метасоматически измененных пород, зональности рудовмещающих структур и как следствие этого – морфологической зональности рудных залежей.

Зональность (метасоматически измененных пород проявляется в том, что на малых глубинах преобладают линейно-локализованные зоны метасоматитов, которые с глубиной сменяются более широкими их полями. Еще глубже околорудные изменения практически сливаются с региональными процессами метаморфизма. В тесной связи с зональностью метасоматитов проявляется структурная зональность. В приповерхностных участках земной коры широко развиты системы разрывных трещин, зоны дробления и брекчирования, трубчатые участки брекчирования (брекчии взрыва), внутрипластовое дробление, отслаивание и трещиноватость пород, связанные с процессами складкообразования. С глубиной количество трещин разрыва постепенно сокращается, их место занимают трещины скалыва-

ния, а в связи со складчатостью в породах развивается кливаж разлома или течения.

Чем длительнее и сложнее геологическая история изучаемого участка земной коры, тем сложнее структура приуроченных к нему рудных полей и месторождений. Каждый новый период тектонических деформаций, накладываясь на ранее сформированные структуры, усложняет их и одновременно создает новые структурные элементы. Складчатые структуры редко испытывают заметную переработку в последующие эпохи диастрофизма. Породы, консолидированные в эпоху складчатости, испытывают в дальнейшем только «глыбовые» движения с обновлением и приоткрыванием ранее сформированных трещинных структур и блокированием отдельных складок. Крупные разломы обычно вновь активизируются в последующие эпохи тектонической деятельности.

Появление морфологической зональности рудных полей зависит от их положения в структурных этажах данного участка земной коры. Влияние структурных этажей проявляется при условии резкого различия по составу и степени метаморфизма пород. Рудные поля, залегающие в образованиях нижних структурных этажей, контролируются зонами крупных региональных разломов или складчатыми структурами, в то время как рудные поля верхних этажей развиваются в трещинных структурах, сопряженных с региональными разломами, образуя жильные зоны и штокверки, контролируются элементами слоистости пород или располагаются в контактовых зонах интрузивных и субвулканических массивов.

Под структурой рудного поля обычно понимают совокупность геологических элементов, определяющих условия пространственного размещения и локализации эндогенных месторождений и тел полезных ископаемых, связанных общностью происхождения. В качестве таких элементов выступают участки пересечения или расщепления региональных разломов и сопряженных с ними разрывных нарушений более высоких порядков, структуры контактов крупных массивов магматических пород, крупные вулкано-тектонические структуры, структуры слои-

стых толщ, сложенные породами, резко различающимися по физико-механическим свойствам и др.

При изучении структур магматогенных рудных полей особенно важно выяснить их пространственные связи с близкими по возрасту магматическими породами. Исследованиями П.Ф. Иванкина показано, что рудные поля представляют собой сложные рудномагматические системы, а их формы и особенности внутреннего строения отражают не только свойства вмещающей геологической среды, но и особенности развития постмагматического рудо-образующего процесса. Прерывистость эндогенного оруденения в недрах имеет сложный, многопорядковый характер, но существует определенная закономерность кустовой группировки магматических и рудных тел, которая находит свое выражение в структурах рудных полей. Несмотря на большое разнообразие форм внутреннего строения, и пространственных взаимоотношений рудных полей с магматическими породами, все они могут быть разделены на ореольные (бескорневые) и корневые. Ореольные рудные поля, расположенные в кровлях массивов и интрузивных пород, отличаются сравнительно большой протяженностью, ограниченным развитием на глубину и несимметричным строением без четко выраженных закономерностей в пространственном размещении рудных образований. В отличие от них, корневые рудные поля имеют значительный вертикальный размах, отчетливую коническую симметрию и характеризуются закономерными изменениями структурных особенностей и вещественных параметров с глубиной. Среди них выделяются рудные поля, корни которых расположены внутри крупных массивов интрузивных пород, и рудные поля, корни которых не обнаруживают видимых связей с крупными плутонами.

П.Ф. Иванкиным разработана методика объемного картирования и геометризации магматогенных рудных полей и показано, что по важнейшим свойствам геометрических моделей рудных полей – их размерам, степени уплощенности, углам «конусности» и углам наклона продольных осей, латеральной симметрии и пространственным взаимоотношениям с предполагаемыми «материнскими» интрузивами можно реставрировать глу-

бокие и эродированные части месторождений, прогнозировать вертикальный размах и изменчивость оруденения на глубину.

Понятия структур рудных полей с коррективами на конкретные виды структурных элементов могут быть распространены на все эпигенетические поля нерудных полезных ископаемых. Основным методом изучения структур рудных полей и месторождений является крупномасштабное геологическое картирование с широким использованием комплексов геофизических и геохи- мических работ, фототеодолитных, аэрофотографических и других дистанционных съемок, картировочного и структурного бурения, специальных методов исследования трещинных структур и микроструктурного анализа. Главная задача картирования рудных полей для прогнозирования не выходящих на поверхность месторождений и тел полезных ископаемых сводится к созданию объемных моделей, отражающих особенности их глубинного строения. Более полные сведения о структурах рудных полей и методах их изучения приведены Ф.И. Вольфсоном и П.Д. Яковлевым.

Многовековым опытом разведки и разработки месторождений установлено, что размещение полезных ископаемых в недрах зависит от состава вмещающих пород, контролируется их элементами залегания, складчатыми и разрывными структурами, зонами метасоматических изменений и другими элементами геологического строения.

Закономерные связи полезных ископаемых со слоистыми толщами, с массивами изверженных пород, элементами складчатых структур и разрывными нарушениями, контактовыми поверхностями разновозрастных геологических образований и элементами прототектоники магматических пород используются как геолого-структурные, поисковые и оценочные критерии полезной минерализации и при обосновании направлений разведочных работ.

По характеру связи с элементами геологического строения скопления полезных ископаемых разделяются на:

– согласные или почти согласные с элементами слоистости вмещающих пород (минерализованные пласты, стратиформные и инфильтрационные месторождения);

– залегающие согласно с контактовыми поверхностями пород различного состава (стратифицированные интрузии, скарны, месторождения выветривания);

– несогласные с напластованием вмещающих пород или залегающие в неслоистых породах, но контролируемые выдержанными, легко картируемыми структурами (минерализованные дайки, зоны и пегматитовые месторождения);

– залегающие в неслоистых породах и контролируемые невыдержанными, сложными, трудно картируемыми элементами геологического строения.

Выявление и правильное понимание характера связей оруденения с важнейшими элементами геологического строения позволяет использовать их при прослеживании и оконтуривании залежей полезных ископаемых, при поисках новых рудных тел в процессе разведочных работ, а также при увязке разведочных данных по соседним пересечениям. Среди самых различных рудоконтролирующих элементов геологического строения наиболее выдержанными являются слоистость и контактовые поверхности вмещающих оруденение пород. Наличие этих элементов рудоконтроля намного облегчает и упрощает проведение разведки, позволяя ограничиваться простыми техническими приемами и средствами. Применению буровых скважин способствует выдержанность и сравнительная легкость картирования главной рудовмещающей структуры, а необходимость использования горно-разведочных выработок возникает в связи с ограниченными размерами рудовмещающих структур, сложностью форм, строения и рудоконтроля отдельных залежей.

1.2.3. Особенности физических и геохимических полей минерализованных участков недр

Знание особенностей физических и геохимических полей минерализованных участков недр способствует более полному и глубокому изучению их структур, прогнозу, выявлению и оценке промышленно-ценных месторождений и залежей полезных ископаемых.

Каждое физическое поле определяется своими параметрами, а их изменчивость зависит от пространственного размещения физических свойств пород и полезных ископаемых в исследуемом объеме недр. Магнитные, гравитационные, электрические, сейсмические, тепловые и радиационные поля отдельных залежей полезных ископаемых, месторождений и рудных полей заметно различаются между собой, т. к. отражают физические свойства различных объемов недр. Так, например, на электрические аномалии, создаваемые рудными полями, отчетливо накладываются аномальные электрические поля более высокого порядка, создаваемые отдельными сульфидными месторождениями, а на них – электрические аномалии еще более высоких порядков, связанные с верхними окисленными участками изолированных рудных тел, расположенными в зоне гипергенеза.

Физические поля детально изученных участков недр устанавливаются однозначно. Однако одинаковое распределение параметров поля может отражать различные соотношения физических свойств, форм, размеров и условий залегания геологических тел, т. е. различное строение изучаемого участка недр. Поэтому обратная задача геофизики – определение структуры изучаемого объема недр по совокупности геофизических данных решается неоднозначно. Она может быть удовлетворительно решена только при том условии, если кроме наблюденного поля будут известны физические свойства изучаемых пород и скоплений полезных ископаемых. Для выполнения этого условия дополнительно к сведениям геологического характера в процессе изучения рудных полей, месторождений, залежей полезных ископаемых и вмещающих пород исследуются и систематизируются данные об их физических свойствах – плотности, магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, удельном электрическом сопротивлении, диэлектрической и магнитной проницаемости, электрохимической активности, упругости, радиоактивности, теплопроводности и теплоемкости. Чем шире диапазон и контрастнее изменения физических свойств полезных ископаемых и вмещающих их пород, тем выше и эффективность геофизических методов исследования, применительно к решению важнейших геолого-разведочных задач.

Эффективному использованию геофизических методов при крупномасштабном геологическом картировании способствуют представления о рудных полях как об объемных трехмерных телах, обладающих определенными геометрическими и физическими свойствами, изменчивость которых определяется совокупным влиянием внешних геологических факторов. На основе этих представлений объектами исследования на ранних стадиях изучения недр должны являться не отдельные месторождения, а рудные поля. Такой подход обеспечивает более уверенный прогноз перспектив глубоких горизонтов и выявление слепого оруденения с помощью современных геолого-геофизических методов, так как выявлению отдельных рудных залежей, обладающих локальными аномальными физическими полями (часто различными на разных эрозионных срезах), предпосылается задача оконтуривания всего рудного поля, обладающего более устойчивым аномальным физическим полем. Знание морфологических особенностей рудных полей облегчает выявление закономерных связей между структурно-геологическими условиями формирования месторождений, типами минеральных тел и, в конечном итоге, между обособленными месторождениями, участками и залежами, что позволяет объединить их в систему рудных образований, имеющих общие корни и объединенные единством происхождения.

Аналогичный подход возможен и к проведению геохимических исследований, сопровождающих крупномасштабное геологическое картирование перспективных рудных районов, если интерпретацию данных геохимического опробования поверхностных горных выработок, картировочных и структурных скважин начинать с выявления аномалий и первичных ореолов, определяющих структуру поля в целом, а затем переходить к выделению локальных аномалий, связанных с отдельными месторождениями или рудными телами.

Использование геохимических данных существенно повышает глубинность прогнозов в связи со значительной вертикальной протяженностью и отчетливой зональностью первичных ореолов элементов-индикаторов полезной минерализации.

Важнейшими поисково-оценочными критериями оценки перспектив рудоносности рудных полей, флангов и глубин разведуемых месторождений являются первичные геохимические ореолы рудообразующих элементов, их спутников, элементов и компонентов рудного процесса (K, Na, CO_2, S сульфидная и др.). Обладая заведомо большими размерами по сравнению с рудными телами, эти ореолы являются индикаторами оруденения, которые помогают ориентировать разведочные работы в нужном направлении.

В настоящее время установлено, что многокомпонентные первичные геохимические ореолы сопровождают месторождения любых генетических типов и рудных формаций. Они представляют собой внешние зоны этих месторождений и сходны с ними по минеральному составу.

В процессе геохимических исследований изучаются элементарный состав ореолов, виды и формы нахождения элементов в них, размеры и морфологические особенности эндогенных ореолов, а также закономерности изменения состава и концентраций элементов-индикаторов и компонентов рудного процесса по мере удаления от рудных залежей в стороны, вверх и вниз. Эти закономерности выражают горизонтальную и вертикальную зональность в строении эндогенных ореолов, которая возникает под действием сложного комплекса внутренних и внешних факторов миграции элементов.

Зональность первичных ореолов наиболее четко выражена в направлении движения рудоносных растворов. Она обусловлена преимущественным накоплением одних элементов в надрудной (головной), а других – в подрудной (корневой) частях ореолов. Исследованиями С.В. Григоряна установлено, что для всех эндогенных месторождений характерна качественно близкая зональность, выраженная следующим рядом элементов-индикаторов (в порядке убывания подвижности): Ba–(Sb, As^1, Hg)–Cu^1– Cd –Ag–Pb–Zn–Sn^1–Au–Cu^2–Bi–Ni – Co – Mo – U – Sn^2– As^2–Be–W.

В строении ореолов наблюдается также и минералогическая зональность. Поэтому некоторые элементы встречаются в ряду зональности дважды (медь, мышьяк, олово). Единый ряд

зональности имеет вероятностный характер с доверительными интервалами для каждого из элементов в зависимости от индивидуальных особенностей месторождений.

При использовании суммированных аддитивных или мультипликативных ореолов влияния частных факторов сводятся к минимуму, и зональность становится более стабильной. В этих случаях она может быть выражена не только качественно, но и количественно, например, через отношения линейных продуктивностей мультипликативных ореолов для различных сечений геохимического поля (рис. 1.6).

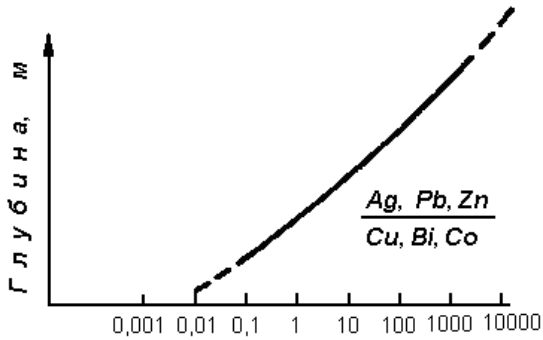


Рис. 1.6. Обобщенный график изменения отношений линейных продуктивных мультипликативных надрудных (Ag×Pb×Zn) и подрудных (Cu×Bi×Co) ореолов полиметаллических месторождений (по С.В. Григоряну)

По составу геохимических ореолов, распределению в них элементов-индикаторов и величинам геохимических аномалий можно уверенно прогнозировать элементарный состав месторождения, выявлять участки промышленного оруденения в перспективных реологических структурах и зонах метасоматических изменений вмещающих пород, различать ореолы промышленноценных месторождений от ореолов рассеянной минерализации.

В качестве геохимических поисковых и оценочных критериев при разведке сульфидных, урановых и некоторых других месторождений используются также ореолы элементов-индикаторов в подземных водах.

Для сопоставления и количественной оценки различных геофизических и геохимических полей может быть использован геометрический способ их корреляции, предложенный В.Ф. Мягковым. Способ основан на измерении углов между проекциями градиентов сравниваемых полей. Среднее значение косинуса угла номинально тождественно коэффициенту корреляции, по оценке которого можно судить о степени подобия сопоставляемых полей.

1.2.4. Состав полезных ископаемых, зональность месторождений и рудных тел

Изучение вещественного состава и минералого-геохимических особенностей полезных ископаемых проводится для:

– выявления парагенетических минеральных ассоциаций и элементов зональности в пространственном размещении химических элементов, минеральных образований и участков гидротермально измененных вмещающих пород, которые используются как минералого-геохимические поисковые и оценочные критерии;

– оценки качества и технологических свойств минерального сырья и выбора наиболее рациональных методов его обогащения, обеспечивающих возможность максимально полного извлечения всех содержащихся в нем полезных компонентов.

Изучение минерального состава и структурно-текстурных особенностей руд позволяет восстановить последовательность отложения продуктов различных стадий минерализации и выяснить фациальные изменения в составе руд. Структуры руд отражают физико-химические условия момента рудоотложения, определяя крупность, строение и способы сочетаний отдельных зерен, а их текстуры – изменения этих условий в течение периода рудообразования. Выявление парагенетических ассоциаций минералов и их возрастных соотношений позволяет судить о тех химических реакциях, которые приводили к выявлению минералов из растворов. Знание парагенетических ассоциаций минералов и закономерностей их пространственного размещения способствует прогнозу минерального состава руд на еще не

вскрытых флангах и глубоких горизонтах месторождений, оценке состава первичных руд по минеральному составу образований окисленных зон и обнаружению скоплений новых полезных минералов по наличию уже выявленных [2].

В задачу минералого-геохимических исследований входит детальное изучение химического состава руд и отдельных рудообразующих минералов, околорудных изменений боковых пород, первичных ореолов рудообразующих элементов и их спутников. На основании детальных геохимических исследований можно прогнозировать содержание редких и рассеянных элементов в рудах многих месторождений. Так, в молибденовых месторождениях обычно встречается рений, в циркониевых – гафний, в полиметаллических – кадмий, индий, галлий, селен, теллур, германий, таллий и др. Выявление примесей редких и рассеянных элементов в рудах повышает ценность месторождения, способствуя более эффективному использованию недр.

При изучении минерального и химического состава полезных ископаемых для оценки качества и технологических свойств минерального сырья первостепенное значение приобретает выяснение размеров и форм минеральных скоплений, их физических свойств и элементного состава. Главное внимание при этом обращается на содержание тех элементов, которыми определяется промышленная ценность руд. Для руд сложного состава выясняется распределение основных и сопутствующих промышленно-ценных элементов по различным рудообразующим минералам, устанавливается валовый химический состав руд и содержания в них вредных примесей.

Изучение околорудных изменений боковых пород, ореолов рассеяния и рудообразующих элементов и их спутников производится в тесной связи с изучением минерального и химического состава рудных залежей, поскольку в генетическом отношении все они представляют собой единые природные образования.

В явлениях зональности месторождений и тел полезных ископаемых отражаются общие особенности их происхождения и влияния конкретных геологических условий. Поэтому минералогическая зональность обычно тесно связана с зональностью околорудных метасоматических изменений.

Геологические основы поисков и разведок составляют главное содержание учения о месторождениях полезных ископаемых. Они подробно изложены в работах В.М. Крейтера и особенно полно в монографии В.И. Смирнова.

1.3. Неоднородность природных минеральных образований и изменчивость их свойств

Природные минеральные образования обладают внутренней неоднородностью состава, строения и свойств, которые вследствие недоступности недр познаются с большим трудом. Изучение неоднородности горных пород и минеральных образований возможно только путем выборочного исследования пространственно разобщенных и ограниченных по размерам образцов проб или участков недр. По сравнению с объемом изучаемого месторождения каждая проба или участок наблюдения охватывают элементарно малую часть. Поэтому состав, строение и свойства полезного ископаемого по данным выборочных наблюдений не соответствуют таковым в объемах крупных минерализованных блоков земной коры. Чем неоднороднее строение минерализованного блока, тем больше несоответствия выборочных значений изучаемых признаков и их средних оценок в исследуемых объемах недр.

Детальность изучения структуры природных скоплений полезных ископаемых определяется густотой сети наблюдений. Редкая сеть даже в самых общих чертах не позволяет судить об их строении. Более густая сеть позволяет судить о генеральных особенностях структур разведуемых участков, а для выявления всех деталей нужна такая сеть наблюдений, при которой расстояния между смежными пробами были бы сопоставимы с размерами самих проб. Это обстоятельство заставляет строго соблюдать принцип последовательных приближений при проведении геологоразведочных работ. При изучении внутреннего строения природных минеральных образований объект исследования рассматривается как сложная геологическая система, состоящая из множества разномасштабных условно однородных структурных элементов – элементов неоднородности, объеди-

ненных совокупностью внутренних связей. До тех пор пока характер этих связей не выяснен, можно говорить только о внутренней неоднородности системы. После выяснения пространственной ориентировки важнейших структурных элементов создается представление об анизотропии объекта изучения, а после выяснения всех их взаимосвязей – о его структуре.

В процессе геологоразведочных работ задача сводится к изучению неоднородности скоплений полезных ископаемых, их анизотропии и структуры как основы для выяснения природной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах, что необходимо для выбора методики разведки и оптимизации условий геологоразведочных работ. Изучение неоднородности минеральных скоплений полезных ископаемых должно сопровождаться изучением неоднородности вмещающих их пород. Для решения всех этих задач необходимо знать геологическую природу неоднородности полезных ископаемых, масштабы ее проявления, влияние размеров проб и сети наблюдений на характеристики изучаемого свойства в оцениваемых объемах недр.

1.3.1. Неоднородность строения минерализованных участков недр и масштабы ее проявления

Возникновение первичной неоднородности горных пород и полезных ископаемых связано с периодом их формирования. Первичная неоднородность толщ осадочных пород возникает в связи с изменчивостью условий осадконакопления. Она выражается чередованием слоев различного состава и их фациальной изменчивостью по падению и простиранию. В строении каждого слоя неоднородность проявляется местными изменениями состава пород, мелкими пропластками различного состава и мощности, чередованием раздувов и пережимов по падению и простиранию пласта.

Первичная неоднородность массивов магматических пород зависит от условий их формирования и проявляется изменениями состава, текстур и структур пород.

В последующие стадии преобразования осадочных и изверженных пород характер первичной неоднородности пород существенно изменяется под влиянием тектонических деформаций, процессов диагенеза, эпигенеза или метаморфизма. На стадии диагенеза свежего осадка в нем возникают линзы, конкреции, пластообразные стяжения и другие новообразования, на стадии эпигенеза происходит его окаменение с полной перестройкой структуры.

Принципиально новые формы проявления неоднородности возникают под влиянием тектонических деформаций, регионального, контактового и гидротермального метаморфизма осадочных и изверженных горных пород. Все они проявляются избирательно в зависимости от состава, генезиса и свойства вмещающих пород.

Неоднородность скоплений полезных ископаемых в недрах также зависит от условий их происхождения. Неоднородность сингенетических скоплений определяется условиями формирования вмещающих пород. Неоднородность эпигенетических скоплений зависят от характера рудовмещающих пород и структур и от особенностей процессов минералообразования. Уменьшению степени неоднородности способствуют хорошая проницаемость вмещающих пород и рудолокализующих структур, стабильные физико-химические условия процессов минералообразования и спокойные тектонические условия окружающей среды. Степень неоднородности увеличивается при осложнении рудовмещающих структур, неравномерности размещения участков оптимальной пористости и трещиноватости, локальных изменениях физико-химических условий рудоотложения, пульсационном характере эндогенных рудных процессов и неустойчивости тектонического режима.

Эпигенетические преобразования природных скоплений полезных ископаемых и вмещающих их горных пород приводят к частичному или полному изменению первозданных структур в результате разрушения, переотложения, рафинирования или изменения первичных минеральных скоплений. Так возникают зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений, месторождения кор выветривания, метаморфизован-

ные и осложненные пострудной тектоникой месторождения различных полезных ископаемых. Поэтому изучение неоднородности и строения полезных ископаемых должно проводиться в тесной связи с изучением неоднородности вмещающих пород на основе последовательного геолого-исторического анализа развития данного участка земной коры.

Неоднородность горных пород и минеральных скоплений полезных ископаемых проявляется при любых масштабах исследования. Полное выявление особенностей их строения возможно только при весьма детальных исследованиях – в масштабах штуфов и шлифов, когда весь изучаемый объект доступен непосредственному наблюдению. Именно поэтому термины «структура» и «текстура» возникли в петрографии и в учении о рудных месторождениях.

Термином «структура» обозначается совокупность морфологических особенностей строения минеральных агрегатов, которые слагают породу или руду. Структура минеральных агрегатов определяется формой, размерами и способами сочетания кристаллических зерен или обломков. Различают макроструктуру, наблюдаемую в крупнозернистых минеральных агрегатах невооруженным глазом, и микроструктуру, выявляемую в мелкозернистых минеральных агрегатах только под микроскопом.

Термином «текстура» обозначаются особенности сложения пород и руд, которые определяются формой, размерами и пространственным размещением минеральных агрегатов, отличающихся друг от друга по составу и структуре. В зависимости от масштаба проявления выделяют мегатекстуру, макротекстуру и микротекстуру. Мегатекстура определяется взаиморасположением крупных по площади минеральных скоплений, наблюдаемых в обнажениях рудных тел в масштабе забоя или очистного пространства. Макротекстура устанавливается глазомерно в отдельных рудных штуфах, а микротекстура может быть установлена только под микроскопом.

Из приведенных определений можно сделать вывод, что «структура» и «текстура» характеризуют особенности строения природных минеральных образований на различных масштабных уровнях. Кристаллические зерна или обломки минералов

определяют структуру минеральных агрегатов и могут рассматриваться как элементы их неоднородности. Минеральные агрегаты представляют собой элементы неоднородности более крупных скоплений полезных ископаемых, образуя в совокупности их текстуру.

Строение участка земной коры, сложенного петрографически однотипной магматической породой, часто считается внутренне однородным и характеризуется ее структурой. Реже на характеристику внутреннего строения блока оказывают заметное влияние текстурные особенности пород (например, полосчатые текстуры). Неоднородность их строения отчетливо проявляется только при изучении крупных массивов, сложенных горными породами различного состава.

В отличие от горных пород структуры полезных минеральных скоплений редко определяют особенности их строения в целом. Представления об их строении определяются детальностью исследований и зависят от размеров тех обособленных минеральных скоплений, которые на данной стадии изученности рассматриваются как элементы неоднородности. В зависимости от масштабов исследования это могут быть кристаллические зерна или обломки полезных минералов, агрегаты мономинеральных зерен, пространственно обособленные скопления полезных минералов различных размеров и форм, серии сближенных рудных пластов или минерализованные зоны, состоящие из групп сближенных рудных тел и т. п.

1.3.2. Последовательность изучения неоднородности строения полезных ископаемых

В практике разведки изучение неоднородности строения важнейших видов полезных ископаемых проводится последовательно, на шести структурных уровнях (или в масштабах):

1) минерализованных зон (толщ);

2) тел полезных ископаемых;

3) рудных столбов или других морфологически обособленных участков тел полезных ископаемых;

4) гнезд, шлир или других локальных обособлений полезных ископаемых;

5) минеральных агрегатов;

6) минеральных зерен или кристаллов.

Под минерализованной зоной подразумевается группа сближенных тел полезного ископаемого, объединенных общностью их происхождения и ограниченных контурами единой рудоконтролирующей геологической структуры. Минерализованные зоны часто имеют линейно-вытянутое поясовое строение, однако они могут быть и более сложными. Если участок повышенной концентрации полезного ископаемого представляет собой систему сближенных пластов или линзообразных залежей, его лучше называть минерализованной толщей.

Размеры минерализованных зон и толщ могут изменяться в очень широких пределах: от весьма крупных, включающих в себя несколько месторождений, до небольших – объединяющих группы мелких скоплений полезного ископаемого, не имеющих самостоятельной промышленной ценности. Строение минерализованных зон или толщ определяется морфологическими особенностями, взаиморасположением и закономерностями пространственного размещения слагающих их тел и более мелких скоплений полезных ископаемых, которые при данном масштабе исследования рассматриваются как элементы неоднородности.

Тело полезного ископаемого представляет собой ограниченное со всех сторон скопление полезного ископаемого, пристроченное к определенному структурно-геологическому элементу или к сочетанию таких элементов.

Размеры тел полезных ископаемых также изменяются в широких пределах – от метров до километров. В зависимости от размеров, условий залегания и ценности минерального сырья очень крупные тела полезных ископаемых могут представлять собой базу для строительства горного предприятия, а крупные и средние тела – служить объектами самостоятельной разработки внутри данного предприятия. Мелкие и очень мелкие тела обычно не имеют самостоятельной промышленной ценности.

Строение тел полезных ископаемых определяется составом, сочетанием и закономерностями пространственного размещения более мелких структурных единиц – морфологически обособленных участков или локальных скоплений полезного ископаемого. Если в строении тел полезных ископаемых проявляется отчетливая зональность, то в качестве элементов неоднородности выступают их морфологически обособленные участки, а при отсутствии зональности – более мелкие локальные скопления полезного ископаемого.

Морфологические или концентрационные рудные столбы, а в пластовых телах – рудоносные пачки, разобщенные прослоями вмещающих пород, или пачки прослоев различной рудонасыщенности, могут быть выделены в качестве морфологически обособленных участков тел полезных ископаемых. В штокверковых месторождениях выделяются участки прожилковых, прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд, участки повышенной рудонасыщенности и убогой минерализации, участки, приуроченные к различным по составу вмещающим породам, или участки, сложенные рудами различного состава. Строение морфологически обособленных участков тел полезных ископаемых определяется пространственным расположением, морфологией и способами сочетания слагающих их локальных обособлений полезного ископаемого.

Мелкие скопления полезного ископаемого в виде гнезд, шлир, прожилков, оруденелых брекчированных зонок, пропластков и других подобных им образований условно относятся к числу локальных обособлений. Строение локальных обособлений определяется пространственным расположением слагающих их минеральных агрегатов и часто может быть охарактеризовано текстурой полезного ископаемого.

Минеральные агрегаты, а также зерна или кристаллы изучаются, как правило, петрографическими и минераграфическими методами. Минеральные агрегаты могут быть простыми или сложными. Простые агрегаты состоят из совокупности мономинеральных зерен (или кристаллов нескольких минеральных индивидов), а сложные – по совокупности полиминеральных зерен

различного состава, которые в свою очередь представляют собой более мелкие полиминеральные агрегаты.

Размеры отдельных кристаллов, зерен и сростков полезных минералов, выступающих в качестве элементов неоднородности, могут варьировать в весьма широких пределах – от сотых долей миллиметра в мелкозернистых рудных агрегатах до нескольких метров в гигантозернистых редкометальных пегматитах.

Изучение неоднородности отдельных мономинеральных зерен или кристаллов полезного ископаемого в процессе геологоразведочных работ производится только для пьезокварца, слюды, керамических пегматитов и некоторых других специфических видов кристаллосырья.

1.4. Методология изучения недр

Минерализованные участки недр как объекты исследования обладают рядом специфических особенностей, определяющих методологию их изучения:

– они практически недоступны для визуального наблюдения, что приводит к необходимости изучения недр с помощью искусственных обнажений, в пределах которых отбираются образцы или пробы для различных испытаний и анализов;

– размеры минерализованных участков недр несоизмеримо больше размеров искусственных обнажений и отдельных проб;

– природные скопления полезных ископаемых часто обладают сложным анизотропным строением с широким диапазоном размеров элементов неоднородности на различных структурных уровнях.

Возможности непосредственного изучения обнаженных поверхностей недр ограничиваются масштабами наблюдений и набором изучаемых свойств. Далеко не все свойства полезных ископаемых доступны визуальному наблюдению. Содержания полезных и вредных компонентов, пористость, влажность, многие технологические и технические свойства могут быть установлены только путем выборочного опробования с последующим испытанием (анализом) отобранных проб. Такие пробы всегда ограничиваются небольшими объемами полезного иско-

паемого, в результате их испытаний или анализов являются единственными источниками информации для суждения о свойствах всего минерализованного объема недр. Представления о размерах и свойствах элементов неоднородности низких порядков создаются только по совокупности смежных выборочных наблюдений и зависят от густоты и расположения сети наблюдений. Основные вопросы методологии изучения недр включают в себя: оценку разведочных возможностей скважин, горных выработок и геофизических методов, теоретические основы опробования, приемы создания упорядоченных систем искусственных обнажений, принципы систематизации разведочных данных, вопросы моделирования объектов разведки и свойств полезных ископаемых в недрах.

1.4.1. Технические средства разведки и их разведочные возможности

При проведении геологоразведочных работ широко используют современные технические средства. По своему назначению они разделяются на основные и вспомогательные. С помощью основных технических средств создаются разведочные пересечения и разведочные разрезы. К ним относятся: горноразведочные выработки, разведочные скважины и геофизические методы, обеспечивающие возможность опробования разведочных выработок и исследования недр в промежутках между ними. Вспомогательные технические средства используются для изучения и документации разведочных скважин и горных выработок, анализа и обобщения результатов геологоразведочных работ. Это аппаратура и технические средства, с помощью которых проводятся геологические, геофизические, геохимические, гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения в горных выработках и скважинах, изучается строение, минеральный и химический состав полезных ископаемых, производятся отбор, обработка, анализы и испытания проб, камеральное изучение и обработка полученных экспериментальных данных.

Горно-разведочные выработки обеспечивают наиболее полные и надежные сведения о составе и строении полезных

ископаемых. Они доступны для непосредственного наблюдения, замеров и зарисовок. Искусственные обнажения недр в стенках, кровле и забоях горных выработок могут быть сфотографированы и многократно опробованы пробами любых размеров и назначения. По ним можно провести полный комплекс исследований – подземное геологическое картирование, геофизические и геохимические наблюдения, детальное изучение минерального состава и текстур полезного ископаемого, изучить инженерно-геологические и гидрогеологические условия будущей эксплуатации месторождения. Это особенно важно при разведке месторождений, сложенных мелкими прерывистыми телами полезных ископаемых, которые контролируются невыдержанными, труднокартируемыми элементами геологического строения – трещинами высоких порядков, участками их пересечения и сопряжения, флюидальностью или контактами фациально неустойчивых вмещающих пород и др. Выявление подобных геологических элементов возможно только путем их непосредственного прослеживания в обнаженных поверхностях недр, если размеры обнажений сопоставимы с размерами изучаемых рудовмещающих структур.

При проведении горных выработок их можно поворачивать в любую сторону вслед за изгибами залежей полезных ископаемых или рудовмещающих структур. Из одной горной выработки можно пройти систему других разведочных выработок или скважин, обеспечивая их преимущественное расположение только в пределах минерализованных участков недр. В некоторых случаях горно-разведочные выработки могут быть впоследствии полностью или частично использованы при эксплуатации месторождения.

К недостаткам горных выработок как основного разведочного средства относятся: их высокая себестоимость, длительные сроки проведения и необходимость организации солидной производственно-энергетической базы.

Для разведочных целей применяются поверхностные и подземные горные выработки.

Поверхностные горные выработки. Проведение этих выработок не требует больших затрат времени, сил и материальных

средств. Они широко применяются на ранних стадиях разведочных работ для изучения геологического строения месторождений, выходов полезных ископаемых на дневную поверхность и закономерностей их изменения в приповерхностной зоне. Наиболее распространенными поверхностными выработками являются канавы и шурфы.

Разведочные канавы разделяются на магистральные и прослеживающие. *Магистральные канавы* проходятся для составления геологических разрезов, ориентированных вкрест простирания рудоконтролирующих структур. Одновременно магистральные канавы являются поисковыми выработками, т. к. ими часто выявляются новые залежи полезных ископаемых. Прослеживающие канавы проходятся для прослеживания залежей полезных ископаемых и рудоконтролирующих элементов геологического строения по простиранию.

Разведочные шурфы разделяются на мелкие – глубиной до 10 м и глубокие – до 40 м. Мелкие разведочные шурфы проходятся для прослеживания и оконтуривания залежей полезных ископаемых или рудоконтролирующих элементов геологического строения по простиранию при мощности чехла рыхлых отложений более 3–5 м, а также для вскрытия предполагаемых под наносами новых тел полезных ископаемых. Глубокие шурфы проходят для изучения приповерхностных участков залежей полезных ископаемых. Часто из глубоких шурфов проводятся рассечки для пересечения залежей полезных ископаемых на полную мощность. При разведке многих россыпных, остаточных, инфильтрационных и других приповерхностных месторождений шурфы служат основным техническим средством создания разведочных пересечений и разрезов.

Если объемы приповерхностных работ сравнительно невелики – проходка мелких горных выработок до коренных пород обычно осуществляется вручную. При больших объемах поверхностных горных работ необходима их комплексная механизация с помощью канавокопателей, роторных и траншейных экскаваторов, механических плугов, бульдозеров и методов направленных массовых взрывов. Для механизированной проходки шурфов используются специальные шурфопроходческие аг-

регаты, бурильные машины большого диаметра или установки медленно-вращательного и ударно-захватного бурения типа УБСР-25. Развитие научно-технического прогресса предусматривает создание комплексных горнопроходческих агрегатов для проходки канав и шурфов глубиной до 30 м.

Подземные горные выработки. Выработки разделяются по целевому назначению на вспомогательные (подходные или вскрывающие) и основные (собственно разведочные).

К вспомогательным относятся стволы шахт, подходные штольни и квершлаги, к основным – орты и гезенки. Штреки и восстающие в зависимости от мощностей залежей полезных ископаемых и горно-технических свойств вмещающих пород могут играть роль как основных, так и вспомогательных разведочных выработок.

Стволы разведочных шахт используются как вертикальные вскрывающие выработки при разведках месторождений, залегающих в условиях слаборасчлененного рельефа. Глубины стволов современных разведочных шахт изменяются от десятков до нескольких сотен метров, а их поперечные сечения от 6 до 25 м^2 в проходке.

Разведочные штольни служат горизонтальными вскрывающими выработками при разведках месторождений, залегающих в условиях пересеченного и горного рельефа.

По сравнению с шахтами разведочные штольни имеют ряд существенных преимуществ: проходка 1 пог. м штольни на порядок дешевле 1 пог. м шахты, а темпы проходки штолен на порядок выше. Организация водоотлива из штолен в процессе проходки и в течение последующего периода разведочных работ несравненно проще и дешевле. Поэтому вскрытие разведуемых месторождений штольнями предпочтительнее даже в тех случаях, когда длина подходов по ним в несколько раз превышает проектную длину ствола вскрывающей шахты. Поперечные сечения вскрывающих штолен в проходке колеблются от 6 до 9 м^2.

Разведочным квершлагом называется горизонтальная горная выработка, пересекающая залежи полезных ископаемых и рудоносные структуры вкрест их простирания. Они проходятся из стволов шахт (рудничных дворов), штолен или штреков для

вскрытия залежей полезных ископаемых, поисков новых залежей или для соединения нескольких параллельных штреков. Квершлаги имеют поисковое назначение или являются вспомогательными разведочными выработками. Только на участках пересечения залежей они выполняют роль разведочного пересечения.

*Разведочные штр*еки – это горизонтальные выработки, пройденные по простиранию залежей полезных ископаемых или по вмещающим породам в висячих или лежачих боках залежей. В первом случае они называются «рудными», а во втором «полевыми».

Полевые штреки имеют значение подходных выработок, т. к. из них проходятся разведочные орты или бурятся подземные разведочные скважины. Рудные штреки играют роль основных, собственно разведочных выработок, если мощности залежей меньше ширины штреков или хотя бы соизмеримы с ними. В этих случаях залежи опробуются на полную мощность, а результаты опробования могут быть использованы при подсчете запасов для вычисления средних геологоразведочных параметров. Если же мощность залежей заведомо больше ширины рудных штреков, то они приобретают значение подходных выработок, а основными разведочными выработками становятся пройденные из них орты и скважины. Данные геологической документации и результаты опробования таких штреков могут использоваться только для оконтуривания залежей на участках, расположенных между соседними ортами, но не для вычисления средних геологоразведочных параметров, т. к. пробы не охватывают полных мощностей залежей.

Разведочные орты – это горизонтальные выработки, пройденные вкрест простирания залежей полезных ископаемых и накрывающие их на полную мощность. Они применяются для разведки мощных крутопадающих и наклонных тел полезных ископаемых и всегда имеют значение основных разведочных выработок.

Разведочные гезенки проходятся из квершлагов вертикально вверх или вниз, пересекая пологозалегающие тела полезных ископаемых в направлении, близком к направлению их мощности. Гезенки являются вертикальными аналогами ортов

при разведке пологозалегающих тел полезных ископаемых системами вертикальных разрезов.

Разведочные восстающие проходятся из штреков по восстанию залежей полезных ископаемых. Они имеют значение основных разведочных выработок только в тех случаях, когда мощности тел полезных ископаемых соизмеримы с шириной восстающих и вписываются в их поперечные сечения. Если мощности тел полезных ископаемых заведомо больше ширины восстающих, восстающие используются как подходные выработки для проходки из них дополнительных ортов или в горнотехнических целях (для вентиляции, спуска оборудования, материалов и т. п.). Иногда данные геологической документации и опробования таких восстающих способствуют уточнению контуров промышленной минерализации или степени ее прерывистости между разведочными горизонтами.

Поперечные сечения квершлагов и штреков составляют в проводке от 3,6 до 5,6 м^2, ортов – от 2,7 до 3,6 м^2, восстающих и гезенков – около 4 м^2.

При проходке разведочных выработок используются средства комплексной механизации буровзрывных, погрузочных, откаточных, подъемных, крепежных и других видов горных работ. Развитие научно-технического прогресса .на горных работах предусматривает создание и внедрение малогабаритного горнопроходческого, погрузочного и откаточного оборудования для механизации трудоемких процессов при проходке разведочных выработок сечением менее 5,6 м^2.

Скважины разведочного бурения обеспечивают значительно меньшую полноту сведений о составе и, особенно, о строении полезных ископаемых по сравнению с горными разведочными выработками. Скважины вскрывают относительно небольшие поверхности недр и недоступны для непосредственного наблюдения. О строении и составе полезного ископаемого судят по результатам изучения вынутого из скважины каменного материала и по данным скважинных геофизических наблюдений. Стенки скважины могут быть сфотографированы, однако вследствие небольших размеров обнаженных поверхностей возможности фотографического метода весьма ограничены. Мно-

гократное и даже повторное контрольное опробование при буровой разведке практически исключается, а возможности отбора проб различного назначения невелики вследствие ограниченности получаемого каменного материала.

Выявление труднокартируемых невыдержанных элементов геологического строения по данным бурения невозможно, т. к. они не поддаются непосредственному наблюдению и прослеживанию. Скважины колонкового бурения обеспечивают получение керна, но проявляют склонность к искривлению, а при других видах бурения первоначальная структура пород в скважинах разрушается.

Несмотря на перечисленные недостатки буровых скважин, они являются самым распространенным техническим средством разведочных работ, т. к. буровая разведка отличается низкой себестоимостью, высокой скоростью бурения, мобильностью и благоприятными организационно-техническими возможностями. Организация и разворот широкого фронта буровых работ невозможны без создания солидной производственно-энергетической базы. С помощью буровых работ значительно быстрее, чем при горной разведке достигаются большие глубины недр.

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых скважины бурятся с поверхности и из подземных горных выработок. Для поверхностного бурения используются неглубокие ударно-вращательные и вибрационные скважины, более глубокие ударно-канатные, пневмоударные и гидроударные скважины, глубокие колонковые и бескерновые скважины вращательного бурения. Из подземных горных выработок бурятся колонковые, шарошечные и перфораторные скважины.

Приповерхностные скважины глубиной до нескольких метров и нескольких десятков метров используются для геологического изучения рудовмещающих структур, поисков минерализованных участков и зон, прослеживания, оконтуривания и опробования приповерхностных участков месторождений полезных ископаемых. Они применяются в качестве основного технического средства при разведке большинства россыпных, многих инфильтрационных и остаточных месторождений. Для

бурения скважин используются буровые установки УПБ-25 и УБР-2 (до 25 м), БУУ-2 (до 50 м) и др. В легкодоступных районах применяются шнековые и другие буровые агрегаты, смонтированные на гусеничном транспорте или на автомобилях.

*Скважины ударно-вращательного и ударно-канатного бу*рения глубиной от нескольких десятков метров до 200–300 м применяются в качестве главных разведочных выработок при разведке штокверковых месторождений, крупных штокообразных и мощных пологих пластообразных залежей. Сравнительно неглубокие скважины бурятся легкими станками типа УБР-1, УБР-2 или БУУ-2, а более глубокие – тяжелыми станками БУ-20-2 и УКС-22М.

По сравнению с колонковым бурением эти скважины обладают более высокими скоростями бурения, особенно по крепким трещиноватым породам до глубин 100–150 м. Возможность бурения скважин большими диаметрами (до 600 мм) и отсутствие избирательного выкрашивания хрупких минералов обеспечивают высокую представительность их опробования. Однако ударно-вращательное и ударно-канатное бурение возможно только в вертикальном направлении и сплошным забоем.

Пневмоударное и гидроударное бурение сплошным и кольцевым забоями возможно в благоприятных геотехнических условиях до глубин 150–200 м. С этой целью используются пневмоударники типов РП-130, РП-Ш и РП-94 и гидроударные машины Г-5 А и ГМД-2. К недостаткам гидро- и пневмоударного бурения относятся низкие качество и выход керна, особенно при бурении в породах с изменчивыми физико-механическими свойствами.

Скважины механического вращательного бурения являются основным видом поверхностных буровых работ. Они используются при разведке твердых полезных ископаемых как основное поисковое и разведочное техническое средство, а также для картировочного, структурного и гидрогеологического бурения.

Колонковое бурение в интервалах глубин от нескольких десятков метров до 150–200 м осуществляется агрегатами, смонтированными на автомашинах (СБУД-150-ЗИВ), а более глубокие скважины бурятся агрегатами ТСБУ-300-ЗИВ на гусенич-

ном ходу и станками ЗИФ-300-М, ЗИФ-650-М, СБА-500, СБА-800, ЗИФ-1200-А, ВИТР-2000. В качестве наконечников в зависимости от физико-механических свойств пород используются твердосплавные коронки, однослойные, многослойные и имирегнированные алмазные коронки, а при бескерновом бурении – шарошечные долота.

Преимущество вращательного бурения по сравнению с ударным заключается в возможности бурить не только вертикальные, но наклонные и горизонтальные скважины, кусты скважин из одного ствола в породах любой крепости и в широком интервале глубин. Направленное и многозабойное бурение эффективно используется при разведке коренных месторождений многих полезных ископаемых. Основные недостатки вращательных скважин – тенденция к искривлению, а при колонковом бурении – возможность систематических погрешностей опробования вследствие избирательного истирания керна.

Скважины подземного бурения могут иметь самостоятельное и вспомогательное разведочное значение.

Самостоятельное разведочное значение имеют глубокие колонковые скважины из подземных камер для разведки глубоких горизонтов месторождений, горизонтальные, наклонные и вертикальные скважины на горизонтах горных работ или между ними, которые бурятся вместо ортов и гезенков. Для бурения глубоких колонковых скважин используются буровые станки, предназначенные для поверхностных буровых работ. Бурение колонковых горизонтальных, наклонных и вертикальных скважин глубиной до 100 м осуществляется станками БСК-2М-100, а бескерновое бурение – станками НКР-100.

Вспомогательное разведочное значение имеют подземные скважины, предназначенные для детализации отдельных разведочных данных – прослеживания локальных рудоконтролирующих структур, мелких апофиз, поисков смещенных участков залежей полезных ископаемых и т. п. Неглубокие подземные скважины могут буриться с помощью колонковых или телескопных перфораторов, установленных на специальных колонках и снабженных комплектом свертываемых штанг. Перфора-

торные скважины относятся к числу бескерновых и могут достигать глубин 15–20 м.

Дальнейшее развитие техники и технологии разведочного бурения предусматривает широкую механизацию и автоматизацию буровых работ, создание буровых автоматов и новых, технически совершенных буровых установок, обеспечивающих бурение скважин на форсированных режимах в интервалах глубин от 25 до 3000 м. При этом предусматривается дальнейшее увеличение объемов алмазного и твердосплавного бурения, широкое внедрение наконечников малого диаметра, буровых труб повышенной прочности, технических средств, повышающих сохранность и процент выхода керна, в частности – двойных и тройных колонковых труб со съемными керноприемниками, обеспечивающих получение высококачественного керна без подъема буровой колонны из скважины. Одновременно разрабатываются и принципиально новые технические средства бурения скважин – забойные машины и термические буровые установки.

Геофизические методы могут рассматриваться как основные технические средства разведки, если они применяются для исследования недр в промежутках между разведочными пересечениями и разрезами или используются для их опробования. Геофизические методы, которые позволяют исследовать участки недр, расположенные между ними, и создавать новые, дополнительные разведочные пересечения и разрезы А.Г. Тархов предложил называть методами подземной геофизики. В их число входят методы:

– электроразведки переменным и постоянным током;
– гравиразведки;
– терморазведки;
– сейсморазведки;
– магниторазведки;
– пьезоэлектрической разведки;
– регистрации космического излучения.

Электрические методы используются в качестве основных технических средств при разведке залежей металлических и неметаллических полезных ископаемых, обладающих высокой электропроводностью. Эффективности применения электриче-

ских методов способствует контрастность электромагнитных свойств руд и вмещающих пород. Они широко применяются при разведке графитовых и угольных (антрацитовых) месторождений, сплошных и вкрапленных медно-колчеданных, медно-никелевых, полиметаллических и железных руд. Наиболее широко распространены методы радиоволнового просвечивания и профилирования (РВП) с помощью электромагнитных волн частотой 0,1–10 мГц. Дальность действия метода РВП зависит от эффективной электропроводности и морфологических особенностей рудных тел, степени поглощения радиоволн вмещающими породами и уровня помех. Диапазон изменений действия метода РВП может изменяться от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

При разведке месторождений, ассоциирующих с зонами вкрапленной сульфидной минерализации (например, золото- или урановорудные месторождения в зонах березитизированных пород), для детализации представлений о морфологии и строении продуктивных зон успешно используется метод вызванной поляризации (ВП) в скважинном и в подземном вариантах. В комплексе с упомянутыми методами используются низкочастотные амплитудно-фазовые измерения (индукционный метод), методы радиокип и радиолокации, сопротивлений, заряда и естественного поля.

Подземные гравиметрические методы применяются при разведке самых различных полезных ископаемых, если их плотность заметно отличается от плотности вмещающих пород. Гравиразведка позволяет выявлять и устанавливать условия залегания угольных пластов, минеральных солей, пегматитовых, кварцевых и баритовых жил, железорудных, колчеданных, полиметаллических залежей и других полезных ископаемых.

Методы подземной терморазведки могут эффективно использоваться для уточнения форм и размеров рудных тел, если в них достаточно отчетливо проявляются экзо- и эндотермические процессы или они заметно различаются по теплопроводности от вмещающих пород. Этим условиям отвечают залежи сплошных сульфидных руд, а второму условию – залежи сплошных железных руд.

Термические исследования производятся преимущественно в скважинах с помощью электрических термопар сопротивлений или полупроводниковых термосопротивлений (термисторов). В комплексе с другими методами подземной геофизики они обеспечивают получение дополнительной информации о характере контактов и морфологии рудовмещающих структур.

Опыт практического использования методов подземной сейсморазведки пока еще невелик. Положительный опыт сейсмического прослеживания описан для полиметаллических руд Ахтальского месторождения, а сейсмические измерения методом отраженных волн – для сидеритовых жил Зигерланда.

Методы подземной магниторазведки получили интенсивное развитие только в последние 10–20 лет. В отличие от полевой магниторазведки при подземных наблюдениях определяются внешнее и внутреннее поля возмущающего объекта, а также скачок поля на границе раздела. Ими осуществляются поиски намагниченных тел в пространстве между разведочными разрезами, определяются их форма, размеры и элементы залегания.

Пьезоэлектрическим методом (ПЭЭФ) выявляются электрические поля, которые создаются в геологических объектах с повышенными пьезоэлектрическими свойствами под влиянием искусственно возбуждаемых упругих волн. К таким объектам относятся в первую очередь кварцевые и пегматитовые тела, обладающие высокими значениями пьезоэлектрического модуля. Метод ПЭЭФ занимает промежуточное место между сейсмо- и электроразведкой. Упругие колебания (возбуждаются сериями взрывов в скважинах или шпурах, фиксируются сейсмоприемниками, а для регистрации электрических колебаний применяются светолучевые осциллографы. В зависимости от взаимного расположения пунктов взрыва и приема различают: пьезоэлектрическое профилирование, пьезоэлектрическое просвечивание и круговые пьезоэлектрические наблюдения. Дальность действия метода ПЭЭФ в подземном варианте достигает 100 м. Этот метод успешно применяется при разведке золоторудных, полиметаллических, пьезокварцевых и других месторождений полезных ископаемых, связанных с кварцевыми и пегматитовыми жилами.

Метод подземной регистрации компоненты космического излучения используется для выявления аномальных по плотности геологических объектов. Область применения метода подземной регистрации космического излучения примерно та же, что и подземной гравиразведки. Главное его преимущество заключается в том, что ограниченные размеры исследуемых объектов обеспечивают более достоверную информацию о плотности отдельных геологических тел и комплексов пород.

С помощью методов подземной геофизики не только успешно выявляются и оконтуриваются залежи полезных ископаемых, но и решаются самые различные горнотехнические задачи: определяется плотность горных пород и руд, выявляются подземные полости и зоны обрушения, формы карстовых полостей, направления, скорости движения и коэффициенты фильтрации подземных вод, горное давление и многие другие задачи.

Методы скважинной и рудничной геофизики широко используются для опробования пройденных горных разведочных выработок и скважин.

1.4.2. Системы разведки и принципы систематизации разведочных данных

Прослеживание природных скоплений полезных ископаемых в недрах производится с помощью разведочных выработок, в качестве которых могут использоваться поверхностные или подземные горные выработки и разведочные скважины. Любая разведочная выработка, пересекающая скопления полезного ископаемого в недрах, представляет собой искусственное обнажение и может рассматриваться как разведочное пересечение.

Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости, образует разведочный разрез, а совокупность разведочных разрезов образует в пространстве разведочную систему.

Разведочное пересечение должно располагаться в направлении, по возможности близком к максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах и вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность, захватывая

прилегающие к ним участки вмещающих пород. Обычно это направление совпадает с направлением истинных мощностей природных минеральных тел.

Разведочное пересечение может быть создано с применением различных технических средств. Чем сложнее строение полезного ископаемого и труднее расшифровываются геологические закономерности локализации полезной минерализации, тем больше должны быть размеры обнаженных поверхностей и детальней комплекс непосредственных визуальных наблюдений. Наиболее полно эти условия обеспечиваются при использовании разведочных горных выработок.

Разведочное пересечение всегда является сплошным, что обеспечивает полную информацию о свойствах полезного ископаемого по изучаемому направлению. Вычисленные по нему средние значения этих свойств предельно близки к истинным. Они расходятся с ними только на величину технических погрешностей экспериментальных наблюдений.

Разведочные разрезы могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к зонам или телам полезных ископаемых. Особую группу образуют разведочные разрезы, ориентированные в продольных плоскостях маломощных тел полезных ископаемых, когда их мощности вписываются в поперечные сечения разведочных горных выработок.

Разведочные пересечения могут располагаться в пределах разведочного разреза параллельно под различными углами или пересекая друг друга, образуя прерывистые или непрерывные разведочные разрезы.

Достоверные данные о строении и свойствах полезных ископаемых и вмещающих пород в плоскости разведочного разреза обеспечиваются только по линиям разведочных пересечений. Представления о свойствах полезных ископаемых в промежутках между разведочными пересечениями могут быть получены лишь путем интерполяции фактических наблюдений. Вычисленные по разрезу средние значения свойств полезного ископаемого расходятся с истинными их значениями не только из-за технических погрешностей наблюдений, но и вследствие погрешностей распространения данных по пересечениям на приле-

гающие к ним площади, которые зависят от расстояний между смежными разведочными пересечениями.

Разведочной системой называется совокупность определенным образом расположенных разведочных разрезов. По пространственной ориентировке разведочных разрезов разведочные системы разделяются на три класса:

– системы вертикальных разрезов;

– системы горизонтальных разрезов;

– системы продольных разрезов.

Системы вертикальных разрезов применяются при разведке горизонтально залегающих, наклонных изометрических залежей, а системы горизонтальных разрезов – при разведке крутопадающих залежей и тел изометрической формы. Системы разведки продольными разрезами с помощью разведочных горных выработок используются для разведок маломощных жило- и пластоподобных залежей.

По признаку взаимного расположения разведочных пересечений в разрезах в каждом классе выделяются группы систем, а в зависимости от применяемых разведочных средств в каждой группе могут быть выделены различные виды разведочных систем.

Группировка разведочных систем приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Группировка разведочных систем

Класс (по взаимному расположению разрезов)	Группа (по взаимному расположению разведочных пересечений в разрезе)	Вид (по совокупности применяемых разведочных средств)
I. Вертикальные разрезы	1. Параллельные вертикальные пересечения	Скважины, поверхностные горные выработки
	2. Параллельные наклонные пересечения	Подземные горные выработки
	3. Пересекающиеся вертикальные и горизонтальные пересечения	Скважины и поверхностные горные выработки
	4. Пересекающиеся наклонные пересечения	
	5. Пересекающиеся гори-	Скважины и подземные

	зонтальные и наклонные пересечения 6. Веерообразные пересечения	горные выработки Скважины, поверхностные и подземные горные выработки Подземные и поверхностные скважины, горные выработки и шпуры
II. Горизонтальные разрезы	1. Параллельные горизонтальные пересечения 2. Пересекающиеся непараллельные пересечения 3. Радиальные (веерообразные пересечения)	Горные выработки Горные выработки и скважины Горные выработки, скважины и шпуры
III. Продольные разрезы	1. Горизонтальные пересечения 2. Горизонтальные и вертикальные (наклонные) пересечения	Горные выработки Горные выработки и шпуры

Решающее влияние на выбор класса разведочных систем оказывают условия залегания и морфологические особенности залежей. Выбор группы системы зависит от сложности их морфологии и строения. Выбор вида системы определяется характером строения, сложностью выявления рудоконтролирующих и рудолокализующих элементов геологического строения, а также горно-геологическими условиями разведуемого участка.

При прослеживании и оконтуривании природных скоплений полезных ископаемых с помощью разведочных систем представления об их геологическом строении отражаются на разведочных разрезах. Суждения о строении полезного ископаемого в объемах между разведочными разрезами основано только на результатах интерполяции данных по смежным разрезам. Поэтому полнота и достоверность представлений о разведуемом объекте зависят от расстояний между соседними разведочными разрезами.

В продольной плоскости залежи полезного ископаемого совокупность параллельных разведочных разрезов образует сис-

тему разведочных линий. В результате пересечения разведочных линий двух взаимно ортогональных направлений образуется разведочная сеть. Важнейшей характеристикой разведочной сети является ориентировка, форма и размеры ее ячейки.

Совокупность сведений об ориентировке, форме и размерах ячейки разведочной сети в продольной плоскости минерализованной зоны или залежи называется геометрией разведочной сети. В практике разведки наиболее широко используются квадратные, ромбические и прямоугольные сети.

Применение геометрически правильных разведочных сетей обеспечивает объективность выборочных данных, способствует выявлению неслучайных составляющих изменчивости геологоразведочных параметров и благоприятствует применению математических методов их обработки.

При использовании прямоугольной сети длинная сторона ее ячейки ориентируется в направлении наименьшей изменчивости свойств полезного ископаемого. При резкой анизотропии строения (например, при разведке лентообразных залежей) прямоугольная сеть превращается в систему разобщенных разведочных разрезов. Расстояния между такими разрезами часто на порядок больше расстояния между смежными разведочными пересечениями в плоскости каждого разреза. Учет анизотропии строения природных минеральных скоплений при выборе ячеек разведочных сетей минимизирует значения погрешностей аналогии при распространении данных, полученных по разведочным пересечениям на прилегающие к ним объемы недр (рис. 1.7).

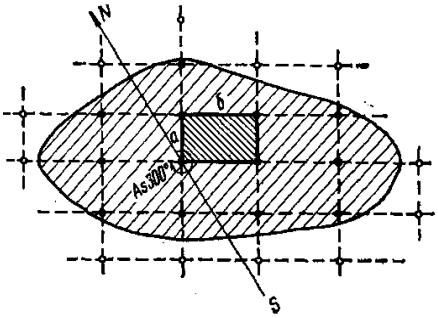


Рис. 1.7. Разведочная сеть и геометрия ее ячейки

Важнейшие свойства полезных ископаемых, наблюденные по разведочным пересечениям, определяющие условия залегания, форму, строение и состав минеральных скоплений в недрах, называются геологоразведочными параметрами.

К геолого-разведочным параметрам, характеризующим форму и условия залегания минеральных скоплений, относятся наблюденные значения мощностей залежей и отметки (координаты) их кровли и почвы. Они относятся к отдельным точкам или линиям и представляют собой векторные величины. Наблюдаемая изменчивость этих геолого-разведочных параметров, измеренная по одному и тому же направлению для одной и той же залежи полезного ископаемого, зависит только от расстояний между соседними пунктами наблюдений.

К геолого-разведочным параметрам, характеризующим строение и состав минеральных скоплений, относятся содержания полезных и вредных компонентов в контурах залежи и объемные массы руд. Их замеры производятся в некоторых элементарных объемах внутри залежей полезных ископаемых, а их значения представляют собой скалярные величины. Наблюдаемая изменчивость этих значений зависит не только от расстояний между соседними пунктами наблюдений, но также и от размеров, форм и ориентировки отбираемых проб.

К комплексным геологоразведочным параметрам относятся метропроценты (метрограммы), характеризующие «линейные» запасы залежей по отдельным пересечениям и коэффициенты рудоносности (продуктивности), вычисленные по отдельным разведочным пересечениям.

Значения комплексных геолого-разведочных параметров зависят от расстояний между соседними пунктами наблюдений, форм, размеров и ориентировки проб.

Все разведочные пересечения подвергаются опробованию путем отбора порций минерализованных пород с последующим испытанием (анализом) отобранных проб или путем определения важнейших свойств полезного ископаемого непосредственно в естественном залегании.

Проба представляет собой единичное наблюдение, предназначенное для определения одного или нескольких свойств по-

лезного ископаемого. Каждая проба характеризуется определенным объемом, формой, размером и ориентировкой. Совокупность этих характеристик объединяется в понятие геометрии пробы. Наряду с природными особенностями полезного ископаемого геометрия отбираемых проб определяет значения численных характеристик наблюдаемых свойств.

Разведочное пересечение может рассматриваться как «сквозная» линейная проба, характеризующая средние свойства полезного ископаемого в данном направлении. Для изучения структуры полезного ископаемого в заданном направлении каждая сквозная проба разделяется на ряд частных, примыкающих друг к другу проб, причем детальность исследования структуры зависит от размеров частных проб. Уменьшая их размеры и увеличивая тем самым общее количество частных проб, можно практически безгранично повышать детальность изучения полезного ископаемого в данном разведочном пересечении.

Экспериментальные данные, полученные по разведочным пересечениям, распространяются сначала на прилегающие к ним площади разведочных разрезов, а средние значения по разведочным разрезам – на примыкающие к ним объемы недр. Из-за несоответствия истинных средних значений геолого-разведочных параметров их оценкам по разведочным пересечениям при распространении исходных данных на прилегающие к ним объемы недр возникают погрешности, которые получили название погрешностей геологических аналогий.

Для максимального снижения погрешностей аналогий необходимо оценить и учесть фактические зоны влияния разведочных пересечений. Размеры этих зон зависят от природных особенностей полезных ископаемых и от геометрии проб. Нельзя отождествлять понятия фактической зоны влияния разведочного пересечения с понятием «ближайшего района», т. е. тяготеющего к нему объема недр, формы и размеры которого полностью определяются геометрией разведочной сети.

Оценить размеры фактических зон влияния можно по силе корреляционных связей между значениями геолого-разведочных параметров в смежных разведочных пересечениях, с учетом характера анизотропии строения залежей. Зона влияния вытянута

в направлении минимальной изменчивости и сжата в направлении максимальной изменчивости изучаемого свойства.

Допустимые пределы погрешности аналогий для оценки разведанных запасов полезных ископаемых и их важнейших геолого-разведочных параметров пока что не установлены. Они должны устанавливаться горной промышленностью с учетом особенностей горной технологии и экономики каждого вида минерального сырья, целей и задач разведочных работ.

1.5. Горно-технологическая оценка объектов разведки

С того момента как минерализованные участи недр становятся объектами геолого-разведочных работ, возникает необходимость их изучения и оценки не только как природных геологических образований, но и как полезных ископаемых – потенциальных источников минерального сырья для удовлетворения потребностей народного хозяйства. В отличие от природных минеральных скоплений, разведанные запасы полезных ископаемых в недрах представляют собой не только творение природы, но и продукты общественного труда, поскольку их выявление и оценка требуют соответственных трудовых затрат. Разведанные запасы используются промышленностью для проектирования и строительства горных предприятий. Стоимость разведанных запасов складывается из общественно необходимых затрат на их выявление и разведку и горной ренты (дифференциального рентного дохода), доля которой тем больше, чем лучше качество и технологические свойства полезного ископаемого, больше его запасы, лучше горно-технические условия разработки месторождения и благоприятнее географо-экономические условия его расположения.

Поскольку объектами разведки являются только те минеральные скопления в недрах, которые удовлетворяют современным требованиям производства, необходимо учитывать эти требования при геологическом изучении и оценке недр. Ими устанавливается комплекс изучаемых полезных свойств минеральных скоплений, и определяются масштабы их исследования.

1.5.1. Зависимость представлений о масштабах и ценности природных минеральных образований от требований производства

При решении вопроса о промышленной ценности природного минерального образования учитывается комплекс горно-геологических, экономико-географических и социально-экономических факторов, совокупностью которых определяется относительная хозяйственная эффективность и очередность промышленного освоения разведанных запасов.

Запасами полезного ископаемого определяются масштабы месторождения и годовая производительность будущего горного предприятия. Чем крупнее масштаб месторождения, тем выше годовая производительность горного предприятия и ниже себестоимость добычи единицы горной массы. С увеличением годовой производительности предприятия увеличиваются размеры выемочных участков – этажей, панелей, уступов, блоков и забойных опалок, т. е. тех условно однородных объемов полезных ископаемых, к которым относятся средние значения их изучаемых свойств.

Качество минерального сырья влияет на экономику горного предприятия. Себестоимость конечного продукта обратно пропорциональна содержанию полезного компонента в рудной массе.

От минерального и химического состава, текстурных и структурных особенностей полезных ископаемых зависит разнообразие их природных типов, а природными типами предопределяются технологические свойства минерального сырья.

Природные типы минерального сырья устанавливаются при геологическом изучении недр практически однозначно, а технологические его типы определяются комплексом горно-экономических требований. К различным технологическим типам относится минеральное сырье, которое требует для переработки и извлечения из него полезных компонентов применения различных технологических схем. Минеральное сырье нескольких технологических типов обязательно различается и по природным типам полезных ископаемых, в то время как полезные

ископаемые различных природных типов могут относиться к одному технологическому типу минерального сырья.

Технологические сорта минерального сырья различаются друг от друга количественно – чаще всего по концентрации полезных компонентов, вредных или нежелательных примесей.

Технологические свойства зависят от минерального и химического состава, физических свойств, текстурных и структурных особенностей минерального сырья. Промышленная ценность руд в значительной мере определяется экономической эффективностью технологических схем их обогащения и извлечения из них полезных компонентов. Экономическая эффективность технологических схем оценивается системой технико-экономических показателей: коэффициентами извлечения основных и сопутствующих компонентов в концентраты и в конечный продукт, величинами потерь ценных компонентов в хвостах, шлаках и других отходах производства, расходами материалов и реагентов.

Технический прогресс в технике и технологии переработки минерального сырья положительно влияет на оценку перспектив промышленного использования месторождений полезных ископаемых. В связи с этим становится рентабельным освоение ранее не промышленных месторождений или участков убогих и бедных руд, расширяются и изменяются контуры запасов полезных ископаемых различных технологических типов и сортов, увеличиваются размеры оцениваемых участков и блоков.

Условиями залегания полезных ископаемых определяются способы отработки месторождений и себестоимость добычи единицы горной массы. От глубин залегания полезных ископаемых зависят способы вскрытия месторождения и возможная годовая производительность предприятия, а от углов падения залежей – способы их разработки и условия доставки горной массы из очистных забоев.

Морфология и внутреннее строение залежей полезных ископаемых определяют способ вскрытия и систему разработки месторождения. Существенное влияние на горно-геологические условия эксплуатации месторождений оказывают их гидрогеологические и инженерно-геологические особенности.

Прогресс в технике и технологии добычи минерального сырья способствует увеличению глубин и расширению возможностей открытых способов разработки, повышению производительности горных работ и сокращению потерь минерального сырья. Совершенствуются также и подземные системы разработок месторождений, возрастают глубины разработки, увеличивается их производительность и размеры самостоятельных выемочных участков, снижаются потери при добыче.

Важнейшие экономико-географические факторы оказывают существенное влияние на экономические показатели и сроки промышленного освоения месторождений. Особенно большое положительное влияние оказывает наличие в районе горных предприятий, добывающих и перерабатывающих данный вид минерального сырья. В таких случаях экономико-географические факторы являются решающими при определении промышленной ценности месторождения.

В зависимости от сочетания горно-геологических, географо-экономи-ческих и социально-экономических факторов сходные по геологической природе скопления полезных ископаемых могут резко различаться по своей промышленной ценности. В одних случаях они могут быть оценены как непромышленные скопления, в других – как объекты первоочередного промышленного освоения. Поэтому знание основ горной технологии, экономики минерального сырья и геолого-разведочных работ необходимо как научная база для оценки степени соответствия природных свойств разведуемых месторождений современным требованиям промышленности и экономики.

1.5.2. Влияние условий горной технологии на представления о свойствах полезных ископаемых и об их изменчивости в недрах

По мере изучения геологических особенностей минеральных скоплений в процессе геологоразведочных работ, представления об их масштабах, качестве, морфологии и строении изменяются в зависимости от требований производства и современной горной технологии. Это связано с тем, что естественные

геологические границы минеральных образований далеко не всегда совпадают с границами их промышленно-ценных участков, а часто вообще отсутствуют. Размеры и формы промышленно-ценных участков определяются в этих случаях горно-экономическими критериями и, как правило, не совпадают с морфологическими особенностями природных минеральных скоплений. Представления о строении минеральных образований зависят также от принятого масштаба изучения, который определяется требованиями горного производства. Например, серия сближенных жильных образований может рассматриваться как группа рудных тел, если отработка каждой жилы намечается самостоятельной системой горных выработок или как единая штокверкоподобная залежь с прерывистым оруденением, если разработка всей серии жильных образований возможна одним небольшим карьером.

Среднее содержание полезного компонента в массиве зависит от размеров блока или забоя, к которому оно относится. С изменением этих размеров будут изменяться средние содержания полных компонентов в них, а, следовательно, и представления об изменчивости средних содержаний в недрах. Таким образом, условия разработки, обогащения и переработки полезных ископаемых наряду с природными условиями оказывают решающее влияние на представления о предмете исследования разведки, определяя вместе с ними морфологические особенности промышленных участков, представления об их строении и характеристики наблюдаемой изменчивости геологоразведочных параметров.

При выделении промышленных участков полезных ископаемых перед геологом возникают различные варианты их оконтуривания. Если рудные скопления не имеют четких природных границ, они оконтуриваются по комплексу горно-экономических условий, например, по заданному содержанию. Выбор оптимального граничного содержания представляет собой сложную горно-геологическую и экономическую задачу. При ее решении должны обеспечиваться такие контуры промышленных участков, которые наиболее полно учитывают природные особенности полезной минерализации и в то же время

обеспечивают оптимальные условия разработки полезного ископаемого, приемлемые технологические качества руд и максимальную экономическую эффективность эксплуатации недр. Морфологические особенности промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых зависят от природных свойств минеральных скоплений в недрах, однако каждому варианту оконтуривания соответствуют различные их размеры и формы.

При оконтуривании минеральных скоплений с прерывистым (внутренним строением или групп мелких пространственно разобщенных скоплений) они объединяются в единые продуктивные залежи. При этом представления о степени их прерывистости зависят не только от геологической природы минерального образования, но и от масштаба, в котором оно изучается. При оконтуривании подобных залежей учитываются масштаб и технологические условия проектируемого производства, размеры забоев горных выработок и объемы селекции полезных ископаемых, т. е. объемы отпалок, черпающих и транспортных сосудов.

1.5.3. Геолого-промышленная модель строения полезного ископаемого

Представления о масштабах, морфологии и строении полезных ископаемых, учитывающие требования горной технологии к качеству минерального сырья и горно-геологическим условиям эксплуатации, могут заметно отличаться от представлений, отражающих только геологические особенности природных скоплений полезных ископаемых. Геолого-промышленная модель строения месторождения, так же как и его природная модель, может быть представлена системой соподчиненных структурных уровней. Однако в качестве элементов неоднородности на каждом из них должны использоваться не разномасштабные природные скопления, а различные по величине минерализованные объемы недр, выделенные по геолого-промышленному принципу. Для их выделения в начальный период разведки используются общие геолого-минералогические представления, требования промышленности к минеральному

сырью, а позже – кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых.

Требования промышленности к качеству минерального сырья устанавливаются горно-добывающей и горно-перерабатывающей промышленностью для каждого вида минерального сырья с учетом возможностей минерально-сырьевой базы страны, современного состояния и развития технологии его отработки и переработки. В них учитываются природные и технологические типы минерального сырья, их сорта, предельные средние содержания полезных компонентов в каждом типе и сорте, предельно допустимые содержания в них вредных компонентов или другие специфические требования, определяющие особенности использования данного вида минерального сырья. На каждый технологический тип и сорт минерального сырья, а также на продукты их частичной переработки устанавливаются действующие оптовые цены. Требования промышленности к качеству минерального сырья выражают определенные данные, характеризующие состояние и экономику данной отрасли промышленности в целом.

Кондиции к подсчету запасов в отличие от требований промышленности к качеству минерального сырья учитывают не только состояние и экономику всей отрасли промышленности, но и природные особенности разведуемого объекта, определяющие масштабы запасов и качество полезного ископаемого, его технологические свойства, горно-технологические условия эксплуатации и географо-экономическое положение месторождения.

Кондиции на минеральное сырье представляет собой совокупность экономически обоснованных требований к качеству и количеству полезного ископаемого в недрах конкретного месторождения, к горно-технологическим условиям его разработки и переработки. Соблюдение требований кондиций обеспечивает возможность оконтуривания промышленно-ценных запасов минерального сырья в недрах и разделение их на балансовые и забалансовые.

По мере развития геолого-разведочных, разведочно-эксплуатационных и горно-добывающих работ, а также горной техники, совершенствования технологии добычи и переработки

минерального сырья, при значительном изменении запасов или в случаях установления новых оптовых цен на готовую продукцию, кондиции пересматриваются и уточняются.

Важнейшим обобщающим показателем кондиций является минимальное промышленное содержание полезного компонента (или комплекса полезных компонентов) в подсчетном объеме, при котором заключенные в нем запасы еще могут быть отнесены к числу балансовых.

Остальные показатели кондиций разделяются на группы, определяющие: качество и технологические свойства минерального сырья; условия оконтуривания полезных ископаемых и горно-технические условия отработки месторождения.

При определении видов и конкретных значений кондиционных показателей учитываются природные особенности строения залежей полезных ископаемых, условия разработки месторождения и переработки минерального сырья.

С учетом требований горной технологии, степени разведанности месторождений, целей и задач геолого-разведочных работ в строении промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых целесообразно выделять шесть последовательных геолого-промышленных уровней:

1) продуктивной зоны;
2) продуктивной залежи;
3) эксплуатационного блока;
4) объема селекции;
5) штуфа;
6) шлифа.

Продуктивная зона (толща) – это такое скопление полезного ископаемого в недрах, которое может быть вскрыто единым комплексом капитальных горных выработок. По масштабу продуктивная зона соответствует самостоятельному участку горно-добывающего предприятия (рудника). Если природные границы месторождения совпадают с границами его промышленно-ценной части, а масштабы минерализации отвечают приведенным требованиям, понятие о природном уровне строения минерализованной зоны и об уровне строения продуктивной зоны практически совпадают. Строение продуктивных зон мо-

жет быть простым или сложным. Наиболее простым строением обладают продуктивные зоны, состоящие только из одного крупного рудного тела (например, штокверки меднопорфировых руд). Более сложным строением обладают продуктивные зоны, состоящие из систем сближенных, но обособленных в пространстве тел полезных ископаемых. Еще более сложными являются продуктивные зоны, представленные системами разновеликих, в том числе мелких, пространственно сближенных скоплений полезного ископаемого (например, скопления киновари в продуктивных горизонтах окремненных пород).

В качестве элементов неоднородности на уровне строения продуктивной зоны в начале разведки выступают геологически однородные блоки продуктивной зоны, объединяющие группы сближенных скоплений полезного ископаемого, а при достаточно густой сети наблюдений – отдельные продуктивные залежи.

Продуктивной залежью называется пространственно обособленное скопление полезного ископаемого, которое может быть подготовлено к выемке самостоятельной системой горно-эксплуатационных работ. Если геологические границы природных тел полезных ископаемых выражены отчетливо, а масштабы минерализации соответствуют упомянутым требованиям, понятия о структурных уровнях тела полезного ископаемого и продуктивной залежи практически совпадают. Если же тела полезных ископаемых обладают малыми размерами, исключающими возможность их эффективной самостоятельной отработки, то в едином контуре объединяется система пространственно сближенных природных скоплений, которая рассматривается как продуктивная залежь со сложным прерывистым строением. Представления о строении природных тел и продуктивных залежей полезных ископаемых различаются и в тех случаях, когда продуктивные залежи оконтуриваются по более высокому содержанию внутри крупных природных скоплений с убогим оруденением во внешнем ореоле.

В качестве элементов неоднородности на уровне строения продуктивной залежи выступают отдельные подсчетные блоки, обладающие свойствами геологической и технологической однородности. Размеры подсчетных блоков зависят от природных

особенностей залежей, степени разведанности запасов и требований к результатам геолого-разведочных работ.

Эксплуатационный блок – это участок продуктивной залежи, подлежащий самостоятельной очистной выемке. Контуры эксплуатационных блоков проводятся внутри продуктивных залежей по горно-технологическим соображениям. Природные границы морфологически обособленных участков внутри тел полезных ископаемых обычно не совпадают с границами эксплуатационных блоков.

В качестве элементов неоднородности на уровне строения экслуата-ционного блока выступают объемы селекции полезного ископаемого.

Объемы селекции сопоставимы с объемами отпалок полезного ископаемого при его открытой или подземной добыче. Размеры объемов селекции зависят от принятых способов и систем разработки. При карьерной отработке их размеры определяются высотой и шириной уступа, а при подземной разработке – размерами очистных забоев. Когда при добыче полезного ископаемого имеется возможность экспресс-оценки его качества, объемами селекции могут служить объемы черпающих или транспортных сосудов – ковшей экскаваторов, вагонеток, автомашин и др.

Понятие об уровне строения объема селекции часто не согласуется с понятием о каком-либо природном уровне строения полезного ископаемого, т. к. границы забойных отпалок обычно не совпадают с естественными границами его обособленных скоплений.

Уровень строения штуфа характеризует текстурные особенности и изменчивость свойств в масштабах образцов полезного ископаемого около дециметра в поперечных сечениях.

Элементами неоднородности на этом уровне служат отдельные участки штуфа, соизмеримые с размерами минеральных агрегатов, мелких концентраций полезных минералов и с участками разделяющих их пустых (жильных) пород или минералов.

Уровень строения шлифа является наиболее высоким геолого-промышленным уровнем, который еще представляет непосредственный интерес для геолого-экономической оценки

месторождения. Он характеризует микротекстурные или структурные особенности полезного ископаемого и его изменчивость в масштабе отдельного шлифа.

В качестве элементов неоднородности на этом уровне выступают участки шлифа, соизмеримые с размерами отдельных зерен, кристаллов, сростков и агрегатов рудных и породообразующих минералов.

Характеристики неоднородности строения полезных ископаемых на различных геолого-промышленных уровнях используются в геолого-разведочной практике для решения различных методических задач.

При проведении предварительной разведки первостепенными объектами изучения являются продуктивные зоны или толщи, характеристики изменчивости которых используются для обоснования геометрии разведочной сети и оптимального количества разведочных пересечений.

Основными объектами детальных разведочных работ являются продуктивные залежи и, соответственно, для оптимизации условий геолого-разведочных работ используются количественные характеристики их геологоразведочных параметров.

Объектами эксплуатационной разведки являются эксплуатационные блоки. В масштабах этих блоков оцениваются характеристики изменчивости важнейших геолого-разведочных параметров, которые используются в дальнейшем для обоснования оптимальных условий геолого-разведочных работ и оценки достоверности подсчета запасов.

Объемы селекции представляют собой такие объемы полезного ископаемого, которые независимо от сложности их строения всегда считаются условно однородными. Количественные характеристики изменчивости геолого-разведочных параметров в объемах селекции могут быть использованы для разработки кондиций, оценки вероятных содержаний в добытом минеральном сырье, расчета ожидаемых потерь и разубоживания. Характеристики изменчивости полезных ископаемых в масштабе штуфов используются для оценки контрастности оруденения и оптимизации условий пробоотбора.

Для выяснения возможностей обогащения и переработки руд неоднородность их строения изучается в масштабах штуфов и шлифов.

При проведении геологоразведочных работ изучение месторождений всегда начинается с познания их природных геолого-структурных особенностей. Если границы между разномасштабными скоплениями полезных минералов и вмещающими породами проявлены достаточно отчетливо, то по мере детализации наблюдений природные элементы неоднородности в строении минеральных образований выявляются легко и однозначно. При отсутствии четких границ между скоплениями полезных минералов и вмещающими породами выделение природных уровней строения осложняется. Для этого приходится прибегать к данным опробования разведочных выработок, а в качестве критерия для разделения минерализованных и неминерализованных участков пород использовать наинизшие содержания полезных компонентов в пробах, установленные промышленностью для полезного ископаемого данного типа.

После выяснения геологической природы разведуемого месторождения возможен переход к изучению полезных ископаемых на различных геолого-промышленных уровнях их строения и к оценкам количественных характеристик изменчивости их свойств на этих структурных уровнях. На рис. 1.8 приведено строение участка флюоритового месторождения на различных геолого-промышленных уровнях в зависимости от принимаемых кондиций.

Для эффективного использования выявленных геологических закономерностей локализации оруденения, правильного выбора методики разведки месторождения и оценки его запасов необходимо установить степень соответствия природных и геолого-промышленных уровней друг другу. Возможные их соотношения показаны на рис. 1.9.

Таким образом, горно-технологические условия эксплуатации месторождения оказывают заметное влияние на методику геологоразведочных работ, определяя масштабы исследования и комплекс изучаемых свойств минеральных скоплений в недрах. По мере развития геолого-разведочных работ представления о

строении разведуемых месторождений, морфологии промышленно-ценных минеральных скоплений, запасах и качестве полезных ископаемых неизбежно изменяются в связи с детализацией геологических представлений и под влиянием кондиций горной технологии.

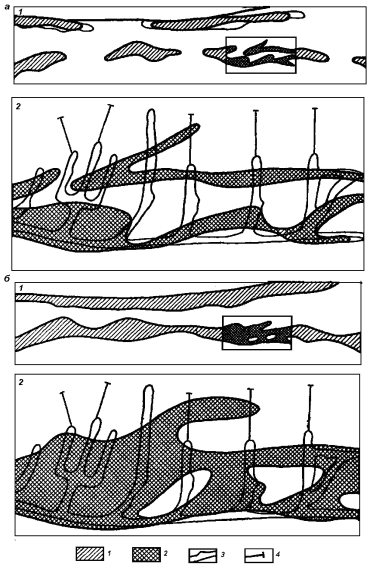


Рис. 1.8. Геолого-промышленная модель флюоритового месторождения на уровнях строения продуктивной залежи 1 и эксплуатационного блока 2: *а – при оконтуривании по бороздовому содержанию 30 % флюорита; б – при оконтуривании по бороздовому содержанию 15 % флюорита. 1 – продуктивные залежи; 2 – продуктивные участки, сопоставимые по размерам с размерами эксплуатационных блоков; 3 – горные выработки; 4 – скважины*

1.6. Производство геолого-разведочных работ

Производство геолого-разведочных работ включает в себя проектирование и проведение разведочных горных выработок и скважин, их опробование, геологическую, геофизическую и геохимическую документацию, изучение качества, технологических свойств полезных ископаемых и горно-геологических условий эксплуатации месторождения.

1.6.1. Оптимизация условий геолого-разведочных работ

На каждой стадии разведки перед геологом возникает задача выбора технических средств, системы разведочных работ,

обоснования геометрии сети и количества разведочных пересечений, приходящихся на самостоятельно оцениваемые объемы недр. Чем плотнее сеть наблюдений, больше поверхности искусственных обнажений и число разведочных пересечений, тем надежнее результаты геолого-разведочных работ, но в то же время значительнее затраты времени и труда. Задача геолога-разведчика сводится к тому, чтобы выбрать наиболее эффективные в данных условиях технические средства и системы разведки, разредить сеть наблюдений и установить минимально допустимое количество разведочных пересечений на подсчетный блок, при которых еще обеспечивается получение достоверных результатов. Выполнение комплекса этих условий называется оптимизацией условий геологоразведочных работ.

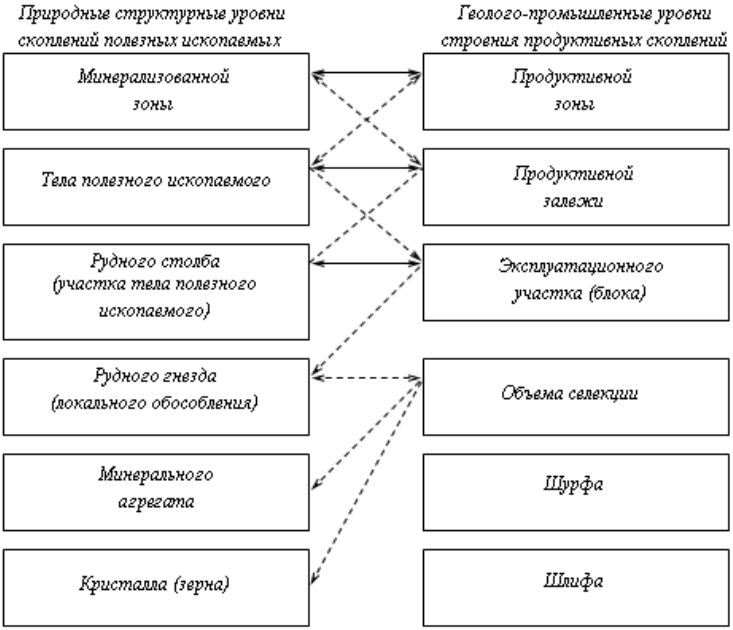


Рис. 1.9. Схема возможных соотношений природных и геолого-промышленных уровней строения месторождений полезных ископаемых (с*плошными стрелками показаны соотношения этих уровней для флюоритового месторождения, представленного на рис. 1.8)*

Оптимизация условий геолого-разведочных работ достигается только в тех случаях, когда при минимальных затратах времени и труда полностью обеспечивается выполнение целей и задач очередной стадии геолого-разведочных работ. Поэтому в каждом конкретном случае чрезвычайно важно сформулировать их с исчерпывающей полнотой и установить четкие количественные критерии степени разведанности запасов. Без этого задача оптимизации условий геолого-разведочных работ становится неопределенной.

Общепризнанных количественных критериев разведанности месторождений полезных ископаемых пока что не установлено. При оптимизации условий геолого-разведочных работ приходится ориентироваться на качественные критерии разведанности запасов, установленные действующей классификацией запасов полезных ископаемых и методическими указаниями о стадийности геолого-разведочных работ. В конечном итоге требования к разведанности месторождений полезных ископаемых должны устанавливаться промышленными организациями. Геолог-разведчик может оценить степень разведанности запасов, достигаемую при выполнении заданных условий геолого-разведочных работ, а проектные и промышленные организации должны решить вопрос о том, удовлетворяет ли их достигнутая степень разведанности запасов.

1.6.2. Выбор технических средств и системы разведочных работ

На выбор технических средств разведки и системы разведочных работ оказывают влияние геологические, горно-технологические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений и техника проходки разведочных выработок.

Геологические факторы отражают условия формирования, состав и строение полезных ископаемых, закономерности их локализации в конкретных геологических структурах и условия

эрозионного среза месторождений. Из них определяющее значение имеют:

– характер связи природных скоплений полезных ископаемых с элементами геологического строения;

– условия их залегания;

– морфология природных скоплений полезных ископаемых;

– строение и состав природных скоплений полезных ископаемых.

Месторождения, в которых залежи полезных ископаемых располагаются согласно с элементами слоистости вмещающих пород, разведуются преимущественно буровыми скважинами, т. к. устойчивость геологических разрезов рудовмещающих пород обеспечивает уверенное прослеживание залежей и взаимную увязку смежных разведочных пересечений. Разведка стратиформных залежей также возможна с помощью буровых скважин. Подземные горные выработки применяются в ограниченных объемах – для уточнения сведений о морфологии и строении залежей.

Залежи в контактовых зонах магматических пород, обладающие устойчивой формой и простым внутренним строением, разведуются буровыми скважинами. Для разведки плащеподобных залежей, в которых верхняя граница определяется подошвой дальнеприносных рыхлых отложений, а нижняя – контактом коры выветривания с невыветренной материнской породой, применяются шурфы или короткие буровые скважины. Аналогично разведуются и россыпные месторождения, для которых верхние границы определяются подошвами торфов, а нижние – поверхностями плотиков. При разведке крупных скарновых месторождений в сочетании с буровыми скважинами широко используются поверхностные и подземные горные выработки. Необходимость их применения связана со сложностью форм и внутреннего строения скарновых залежей.

Разведка залежей, несогласных с напластованием вмещающих пород, но контролируемых выдержанными, легкокартируемыми структурами, осуществляется буровыми скважинами и горными выработками. Применению буровых скважин способствуют выдержанность основных рудоконтролирующих струк-

тур. Сложные по строению зональные пегматиты и рудные жилы разведываются с преобладанием горных работ над буровыми. В этих случаях буровая разведка применяется только для прослеживания рудовмещающих структур и подтверждения промышленной минерализации на флангах и на глубоких горизонтах, а оценка подсчетных параметров и выявление локальных рудовмещающих структур основываются на данных горных работ.

Разведка мелких скоплений полезных ископаемых секущих слоистость вмещающих пород и контролируемых сложными, труднокартируемыми элементами геологического строения, осуществляется преимущественно горными выработками, т. к. вследствие малых размеров рудных скоплений и неустойчивости разрезов рудовмещающих пород наблюдений по разведочным скважинам недостаточно для выявления и оконтуривания рудоносных структур. Разведочное бурение используется только для поисков новых минерализованных участков и для подтверждения промышленной минерализации на флангах и на глубоких горизонтах месторождений.

Условиями залегания полезных ископаемых определяются системы разведки, а в сочетании с рельефом поверхности – технические средства разведочных работ. Горизонтальные, пологопадающие и наклонные залежи разведываются системами вертикальных, параллельных разрезов; реже применяются непараллельные или радиальные вертикальные разрезы. При разведке крутопадающих тел с помощью горных выработок обычно создаются горизонтальные разрезы, а с помощью скважин – вертикальные. Для крутопадающих и вертикально ориентированных тел исключается возможность применения ударно-канатных скважин, и ухудшаются условия использования колонковых скважин. Мощные пологопадающие и горизонтально залегающие тела легче разведывать буровыми скважинами, чем горными выработками. При их горной разведке приходится создавать сложную систему штреков, квершлагов и гезенков (или вертикальных скважин), в то время как мощные крутопадающие тела разведываются системами ортов и штреков (или горизонтальных скважин).

Элементы залегания тел полезных ископаемых в сочетании с рельефом поверхности предопределяют тип вскрывающих разведочных горных выработок. Расчлененность рельефа способствует применению разведочных штолен, которые всегда предпочтительнее разведочных стволов шахт. Полезные ископаемые, залегающие согласно поверхностям склонов горного рельефа, легко вскрываются штольневыми выработками. При падениях залежей в обратную сторону от склона создаются неблагоприятные условия для их разведки буровыми скважинами. Морфология природных скоплений полезных ископаемых существенно влияет на расположение разведочных пересечений на ориентировку разрезов и на выбор технических средств разведки. Крупные и очень крупные скопления (площадью несколько квадратных километров и более) разведываются буровыми скважинами. Средние по размерам скопления (площадью с десятки гектаров) разведываются буровыми скважинами в сочетании с горными выработками, а при разведке мелких и очень мелких скоплений (площадью в тысячи и менее квадратных метров) горные выработки резко преобладают над разведочными скважинами.

Форма скоплений полезных ископаемых оказывает влияние на расположение разведочных пересечений в плоскостях разведочных разрезов. Простые и выдержанные по форме пластовые, пластообразные, штокообразные и изометрические тела разведываются системами параллельных вертикальных или горизонтальных пересечений, более сложные ветвящиеся столбообразные и жилоподобные тела – системами радиальных пересечений. Устойчивость форм скоплений полезных ископаемых оказывает влияние и на выбор технических средств разведочных работ. Залежи, устойчивые и простые по форме, успешно разведываются буровыми скважинами. Усложнение и невыдержанность форм требуют применения более густой сети наблюдений, что часто оказывается экономически эффективным только с использованием горных выработок. Иногда форма залежей полезных ископаемых предопределяет и ориентировку самих разведочных разрезов: маломощные жилы разведываются продольными разведочными разрезами, а лентоподобные залежи – сис-

темами непараллельных разрезов. Влияние форм скоплений полезных ископаемых на выбор системы разведочных работ заметно ослабевает с увеличением их размеров и практически не ощущается при разведке крупных и очень крупных залежей полезных ископаемых.

Строение и состав полезных ископаемых определяют ориентировку разведочных пересечений и выбор технических средств разведочных работ. Практически сплошное строение полезных ископаемых благоприятствует применению скважин разведочного бурения и параллельной ориентировке разведочных пересечений в плоскостях разрезов. Прерывистое строение заставляет ориентировать разведочные пересечения под различными углами друг к другу, сочетая разведочные скважины с горными выработками. При очень сложном, сильно прерывистом строении используются горные выработки, которые в сочетании с короткометражными скважинами образуют в плоскости разреза сеть перекрестных разведочных пересечений.

Влияние состава и физических свойств полезных ископаемых проявляется особенно резко при выборе геофизических средств разведочных работ. Резкие различия физико-механических свойств полезных минералов и вмещающих пород иногда могут способствовать преимущественному использованию горных выработок по сравнению с разведочными скважинами, например, для предупреждения систематических погрешностей при опробовании скважин вследствие избирательного истирания керна.

Из горно-технологических факторов наиболее существенное влияние на выбор технических средств и методов разведочных работ оказывают:

– предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения;

– гидрогеологические условия, горно-технические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

При открытых системах разработки снижаются требования к кондиционным показателям для оконтуривания. Это приводит к расширению контуров продуктивных залежей, упрощению их форм и строения. Разведка таких месторождений производится

преимущественно буровыми скважинами, тем более что использование горных выработок при последующей карьерной разработке невозможно. Сходные условия возникают и при разведках месторождений, намечаемых к разработке высокопроизводительными подземными системами или способами подземного выщелачивания.

При повышенной водоносности месторождений разведочные горные выработки по возможности заменяются буровыми скважинами, а при горном варианте разведки вскрывающие шахты заменяются дренажными штольнями. Иногда при слабой устойчивости минерализованных пород проводятся полевые штреки вместо рудных, а продуктивные залежи вскрываются системами ортов, гезенков или короткометражных скважин. Большие мощности рыхлых отложений способствуют замене горных выработок буровыми скважинами (особенно в случаях повышенной водоносности наносов). Сильная трещиноватость или сыпучесть минерализованных пород приводит иногда к отказу от колонкового бурения из-за невозможности обеспечить удовлетворительный выход керна.

Географо-экономические факторы в большинстве случаев не играют определяющей роли при выборе систем разведочных работ, но могут оказывать заметное влияние на выбор технических средств. Так, например, близость действующего горнодобывающего предприятия и высокая степень экономического развития района, способствуют более широкому применению горных выработок, по сравнению с разведочными скважинами.

1.6.3. Принципы оптимизации разведочной сети

Оптимизация разведочной сети производится на основе данных о наблюдаемой изменчивости важнейших геологоразведочных параметров объектов разведки. В качестве ведущих геолого-разведочных параметров в большинстве случаев могут быть использованы линейные запасы (метропроценты). При отрицательной связи между значениями мощностей и содержаний максимальной изменчивостью могут обладать мощности, либо содержания скоплений полезных ископаемых. В

таких случаях за основу оптимизации разведочной сети должна приниматься характеристика более изменчивого параметра [3].

На стадии предварительной разведки объектом оценки является вся продуктивная зона (или толща) в целом, на стадии детальной разведки – отдельные продуктивные залежи, а на стадии эксплуатационной разведки – отдельные участи (эксплуатационные блоки) продуктивных залежей. В соответствии с этим за основу оптимизации разведочной сети принимаются характеристики изменчивости геолого-разведочных параметров продуктивных зон (толщ), продуктивных залежей или их участков.

При разведке полезных ископаемых прерывистого строения в качестве наиболее изменчивого геолого-разведочного параметра иногда принимаются значения «прессованных» линейных запасов (суммарные мощности и содержания рудных интервалов) и коэффициентов рудоносности по сквозным пересечениям. Реже в качестве ведущих геолого-разведочных параметров принимаются отметки почвы или кровли продуктивной залежи.

Ориентировка и соотношение сторон ячеек разведочной сети зависит от характера анизотропии ведущего геолого-разведочного параметра в продольных плоскостях продуктивных залежей или зон. Длинная сторона ячейки сети ориентируется вдоль направления минимальной изменчивости, а соотношение размеров ячейки устанавливается пропорционально отношению показателей анизотропии геолого-разведочного параметра по двум взаимноортогональным направлениям, лежащим в продольной плоскости.

Выбор геометрии ячейки разведочной сети зависит от того, какое свойство полезного ископаемого подлежит более надежной оценке. Для надежной оценки объема и условий залегания полезных ископаемых используются характеристики изменчивости формы залежи (рис. 1.10), а для надежной оценки качества минерального сырья – характеристики изменчивости линейных запасов или содержаний.

Густота разведочной сети зависит от размеров скоплений полезных ископаемых, сложности их геологического строения,

целей разведочных работ и размеров оцениваемых (подсчетных) блоков.

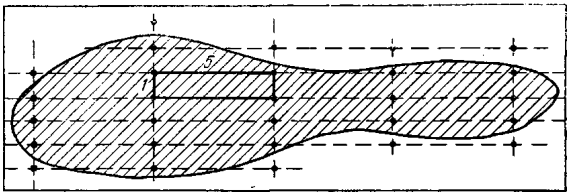


Рис. 1.10. Выбор геометрии ячейки разведочной сети в зависимости от анизотропии формы залежи

Если в задачу разведки входит только обнаружение промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых, то размеры ячеек разведочной сети должны быть сопоставимы с размерами этих скоплений. Для предварительной оценки запасов необходимо, чтобы каждая зона или залежь вскрывалась бы, по крайней мере, тремя разведочными разрезами при количестве разведочных пересечений в каждом разрезе не менее трех. При детальных разведочных работах степень дальнейшего сгущения сети зависит от сложности геологического строения месторождения полезного ископаемого. В идеальном случае сгущение сети должно проводиться до тех пор, пока условия залегания, особенности морфологии, строения и состава залежей полезных ископаемых не будут выполнены с полнотой и детальностью, необходимой для проведения эксплуатационных работ. Экономически обоснованным пределом рационального сгущения разведочных пересечений можно считать такое расстояние между ними, которое сопоставимо с величиной средней мощности разведуемого скопления полезного ископаемого.

Мерой, определяющей степень сгущения разведочной сети, может служить выявляемая доля неслучайной (координированной) изменчивости изучаемых свойств залежей полезных ископаемых, т. к. только при ее наличии правомерна их геометризация. Составляющая неслучайной изменчивости может быть выявлена и оценена горно-геометрическими, статистическими методами или методами статистики случайных функций.

Количество разведочных пересечений определяет вероятные погрешности оценок запасов и средних значений геолого-разведочных параметров в пределах подсчетных блоков. Оно зависит от предельно допустимых погрешностей определения каждого геолого-разведочного параметра и заданных доверительных вероятностей этих оценок в подсчетных блоках установленных размеров. Зная требования промышленности к точности определения геолого-разведочных параметров и характеристики случайных составляющих их изменчивости, можно рассчитать необходимое и достаточное количество разведочных пересечений на подсчетный блок методами математической статистики случайных величин.

Правильно выбранная разведочная сеть должна быть одновременно оптимальной с позиций, как геометрии, так и количества разведочных пересечений на подсчетный блок. Таким образом, размеры подсчетных блоков влияют не только на количество пересечений, но и на густоту разведочной сети.

1.6.4. Оптимизация разведочной сети при проектировании разведочных работ

При проектировании геолого-разведочных работ, когда сведений о геологическом строении месторождения и свойствах полезного ископаемого еще очень мало, оптимизация разведочной сети проводится по аналогии с другими, уже разведанными и освоенными месторождениями данного геолого-промышленного типа. С этой целью в действующих инструкциях ГКЗ по применению классификации запасов к месторождениям различных видов минерального сырья приводятся систематизированные данные о густоте сети горных выработок и скважин, отражающие опыт разведки месторождений различных геолого-промышленных типов при оценке запасов по категориям А, В и C_1.

Оптимизация сети на стадии проектирования разведочных работ сводится к тому, чтобы по совокупности известных геологических данных определить геолого-промышленный тип и группу разведываемого месторождения и, ориентируясь на опыт

разведки, принять оправдавшую себя на практике геометрию разведочной сети.

На ранних стадиях разведки при выборе сети учитывается возможность ее неоднократного сгущения впоследствии. В практике геолого-разведочных работ широко применяются сети с расстояниями между разведочными пересечениями 800, 400, 200, 100, 50, 25, 12,5 м. Они используются при разведке большинства рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. Разведочные сети с расстояниями 2000, 1000, 50, 250 и 125 м применяются для разведки крупных и выдержанных месторождений преимущественно пластового типа (минеральных солей, угольных бассейнов платформенного типа и др.).

На стадии проектирования целесообразно придерживаться приведенных выше расстояний между смежными разведочными пересечениями, т. к. отступления от них не могут быть обоснованы из-за отсутствия экспериментальных данных об изменчивости месторождений.

При наличии сведений об анизотропии строения зон или залежей полезных ископаемых вместо квадратных ячеек разведочной сети выбираются прямоугольные. При этом рекомендуемые площади ячеек сохраняются, а их длинные стороны ориентируются по направлению минимальной изменчивости свойств полезных ископаемых.

Для определения примерного количества разведочных пересечений на подсчетный блок пользуются обобщенными эмпирическими данными. В.И. Смирнов при разведке рудных полезных ископаемых рекомендует различать четыре группы месторождений:

– непрерывные по кондициям и равномерные по содержанию;

– непрерывные по кондициям, неравномерные по содержанию;

– прерывистые по кондициям, но равномерные по содержанию;

– прерывистые по кондициям и неравномерные по содержанию.

В зависимости от группы месторождения для подсчета запасов категории C_1 рекомендуется соответственно 5, 10, 20 и 30 разведочных пересечений на подсчетный блок. Для подсчета

запасов категорий А и В количество пересечений на блок увеличивается в 1,5–2 раза.

При разведке месторождений нерудных полезных ископаемых простого, сложного и очень сложного строения В. М. Борзунов рекомендует ориентироваться, соответственно на 9, 16 и 25 разведочных пересечений на подсчетный блок.

По данным ВИЭМСа, при разведке рудных месторождений количество разведочных пересечений от 20 до 30 обеспечивает максимально эффективное снижение погрешностей оценок средних содержаний. При дальнейшем увеличении их числа снижение погрешностей оценок происходит значительно медленнее. Увеличение степени прерывистости полезных ископаемых также приводит к заметному возрастанию погрешностей оценок средних содержаний полезного компонента и коэффициента рудоносности. Поэтому при коэффициентах рудоносности менее 0,7 независимо от количества разведочных пересечений, запасы квалифицируются не выше категории C_1, а при коэффициентах рудоносности менее 0,9 – не выше категории В.

Приведенные в инструкциях ГКЗ и методических руководствах средние статистические данные способствуют решению проблемы оптимизации разведочной сети только в самом первом приближении. Каждое новое месторождение обладает индивидуальными геолого-структурными и морфологическими особенностями, которые должны учитываться при выборе геометрии разведочной сети и обосновании оптимального количества разведочных пересечений на подсчетный блок. При проектировании детальных разведочных работ это возможно на основе геолого-математической обработки результатов предварительной разведки, полученных по эталонным участкам, или материалов по детальной разведке месторождений-аналогов. Обработке подвергаются данные, полученные по совокупности геолого-разведочных работ, по детализационным разрезам, причем для получения убедительных результатов количество единичных наблюдений должно быть не менее нескольких десятков.

1.6.5. Оптимизация разведочной сети в процессе разведочных работ

В процессе разведочных работ проводится систематическая обработка и анализ получаемой геологической информации: изучаются геологическое строение месторождения, морфология, строение и состав скоплений полезных ископаемых, геометризируются их важнейшие свойства и вычисляются количественные характеристики изменчивости геолого-разведочных параметров. Все эти данные служат основой для корректировки разведочной сети в соответствии с геологическими особенностями разведываемого месторождения. Оценка оптимальности разведочной сети и ее корректировка производятся:

– по степени увязки смежных разведочных пересечений и разрезов;

– путем выборочного сгущения разведочных пересечений или разрезов;

– путем создания эталонных разрезов по типичным направлениям изменчивости свойств полезных ископаемых.

В смежных разведочных пересечениях и разрезах, прежде всего, оцениваются возможность и правомерность взаимоувязки важнейших рудоконтролирующих элементов геологического строения и увязки контуров продуктивных скоплений в тесной связи с формой, размерами и ориентировкой контролирующих геологических элементов. Для оценки степени взаимосвязи значений важнейших геолого-разведочных параметров (мощностей, площадей, содержаний и линейных запасов) используются приемы геолого-математического моделирования.

Если контуры минеральных скоплений в смежных разведочных пересечениях и разрезах не поддаются взаимной увязке, а увязываются лишь рудоконтролирующие элементы геологического строения, принятая сеть оптимальна для разведки всей минерализованной зоны в целом, но не для разведки отдельных скоплений полезного ископаемого (рис. 1.11). Возможность увязки смежных минерализованных интервалов и локальных рудоносных структур свидетельствует о приемлемости сети для разведки самих скоплений полезных ископаемых.

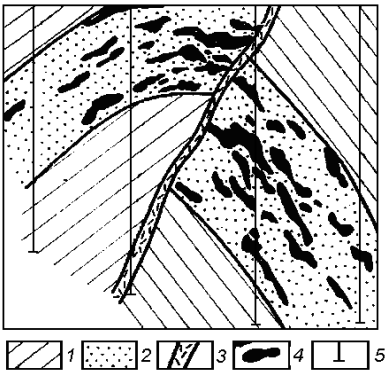


Рис. 1.11. Пример увязки рудоконтролирующей структуры при полной неувязке отдельных рудных скоплений:
1 – сланцы; 2 – окремненные песчаники; 3 – зона разлома; 4 – истинное расположение и формы рудных скоплений; 5 – скважины

Выборочное сгущение разведочных пересечений и разрезов проводится для контроля представлений о геологической модели, полученных по пройденной разведочной сети. Для этого по разведочным данным отстраиваются геологические разрезы с контурами продуктивных залежей или зон. Затем сеть разведочных пересечений выборочно сгущается и по совокупности всех наблюдений составляются новые разведочные разрезы. Если новые разрезы мало отличаются от первоначальных, принятую сеть можно считать оптимальной (рис. 1.12). Если же они приводят к заметным изменениям прежних представлений, это означает, что разведочную сеть следует сгустить (рис. 1.13).

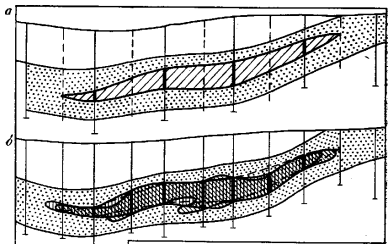


Рис. 1.12. Подтверждение оптимальности разведочной сети методом выборочного сгущения разведочных пересечений:
а – разрез, построенный до сгущения сети; б – разрез, построенный после сгущения сети. 1 – рудовмещающие породы; 2 – контуры залежи по данным редкой сети; 3 – контуры залежи по данным сгущенной сети; 4 – истинные контуры залежи; 5 – проекция контуров, построенных по редкой сети; 6 – скважины

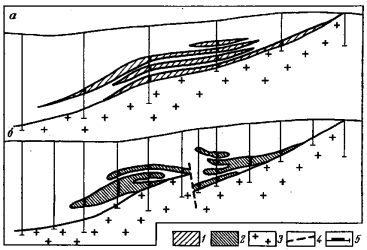


Рис. 1.13. Подтверждение неоптимальности разведочной сети методом выборочного сгущения разведочных пересечений:
а – разрез, построенный по редкой сети; б – разрез, построенный после сгущения разведочной сети. 1 – контуры рудных тел по данным редкой сети; 2 – контуры рудных тел по данным сгущенной сети; 3 – гранитоиды; 4 – тектоническое нарушение; 5 – скважины и рудные интервалы

Создание эталонных участков необходимо в конце каждой стадии разведочных работ. При завершении предварительной разведки на типичном участке месторождения выбираются, по крайней мере, два взаимно пересекающихся разведочных разреза в направлениях, совпадающих с ориентировкой линий разведочной сети. По обоим разрезам разведочные пересечения сгущаются до расстояний, соизмеримых с величиной средней мощности продуктивной залежи. Результаты геологического изучения этих разрезов и математической обработки геологоразведочных данных используются при проектировании детальной разведки в качестве эталона-аналога, для оценки строения и вероятных характеристик изменчивости полезного ископаемого на уровне строения продуктивной залежи.

При завершении детальной разведки в пределах типичных участков месторождений, характеризующих различные технологические сорта полезного ископаемого и разные горно-технологические условия, создаются системы сближенных эталонных разрезов. Сеть разведочных пересечений по этим разрезам должна быть более густой, чем на эталонных разрезах предварительной разведки, сопоставимой с объемами селекции полезного ископаемого при его разработке.

В процессе проведения геолого-разведочных работ широко используются математические и горно-геометрические методы анализа разведочной сети.

Для геометризации значений изучаемых геолого-разведочных параметров в продольных плоскостях залежей через точки, расположенные в центрах «скользящего окна», проводятся изолинии их сглаженных значений. По смыслу эти, изолинии близки к «скользящим» средним, т. к. отражают наиболее вероятные закономерности пространственного размещения изучаемого параметра. В этих случаях дисперсия случайной составляющей изменчивости рассчитывается через отклонения наблюденных значений от топографической поверхности. По горно-геометрическим графикам сглаженных значений изучаемого геологоразведочного параметра можно рассчитать показатели его анизотропии в плоскости залежи.

Для оценки характеристик случайной и неслучайной изменчивости геологоразведочных параметров, не отвечающих условиям стационарности, могут быть использованы спектральные плотности (линейчатые спектры), характеризующие распределение дисперсий по частотам полигармонических колебаний наблюденных значений параметра.

В условиях массовости исходных данных и стационарности случайных функций, наблюдаемых геолого-разведочных параметров расчет средних значении погрешностей в заданных объемах недр может быть выполнен и с помощью геостатистических методов на основе определения коэффициента абсолютной контрастности α.

При использовании всех перечисленных моделей необходимо учитывать функции их статистических распределений и

проводить расчеты эмпирических функций для логарифмов наблюдаемых значений геолого-разведочных параметров, если их распределения асимметричны и не противоречат логнормальному закону.

1.7. Опробование

Опробование полезных ископаемых – важнейшая операция геоЛого-разведочных работ и единственный научно обоснованный способ выявления качества полезных ископаемых: их минерального и химического состава, технологических свойств, зональности и внутреннего строения. По данным опробования выделяются и оконтуриваются природные и технологические типы минерального сырья в недрах, изучаются физические свойства и инженерно-технические характеристики полезных ископаемых и вмещающих пород. При отсутствии естественных контактов полезных ископаемых с вмещающими породами результаты опробования используются для оконтуривания их промышленно-ценных скоплений, выявления морфологических особенностей и внутреннего строения залежей. В зависимости от целевого назначения различают:

– рядовое, технологическое и техническое опробование полезных ископаемых в недрах;

– товарное и другие виды опробования минеральных масс в рыхлом, перемешанном состоянии.

Рядовому опробованию подвергаются все разведочные выработки и скважины. Оно является основным видом опробования и проводится в массовом масштабе для систематического определения качества полезного ископаемого и оконтуривания промышленно-ценных участков, когда они не обладают четкими геологическими границами. В отбираемых рядовых пробах определяются содержания полезных компонентов и вредных примесей или полезных минералов. В первом случае рядовое опробование называется химическим, а во втором случае – минералогическим.

Минералогические методы опробования являются ведущими при разведке россыпей, а также при разведке коренных ме-

сторождений, если полезные элементы содержатся в одном минерале, а его химический состав отличается постоянством.

Разновидностью рядового опробования можно считать геохимическое опробование, которое проводится для изучения ореолов полезных элементов и элементов-индикаторов вокруг промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых в недрах.

Техническое опробование проводится для изучения различных физических и технических свойств полезных ископаемых – объемных масс, влажности, разрыхляемости, крепости, буримости, кусковатости и др. При разведке некоторых видов полезных ископаемых (главным образом полезных минералов и строительных материалов) техническое опробование проводится в массовом масштабе для оценки свойств минерального сырья, определяющих его промышленную ценность (качество и размеры кристаллов слюды, длина и прочность асбестового волокна, полируемость строительных камней и др.).

Технологическое опробование проводится для изучения технологических свойств полезного ископаемого в лабораторных, полупромышленных и в производственных условиях. Лабораторные технологические пробы отбираются для выяснения возможных способов и принципиальных схем технологической переработки полезного ископаемого. Испытанием полупромышленных проб уточняются выявленные технологические свойства, и выбирается наиболее эффективная схема переработки минерального сырья, обеспечивающая оптимальные технико-экономические показатели технологического процесса. Испытание технологических проб в производственных условиях проводится для проверки и уточнения технологических схем и важнейших технико-экономических показателей.

Товарное опробование проводится для определения качества добытых масс полезного ископаемого и продуктов его переработки (концентратов) в вагонах, автомашинах, трюмах судов и др. Опробование добытых и перемешанных минеральных масс для определения их качества проводится также на разных этапах процесса разведки и эксплуатации месторождения – в вагонетках и бункерах, отвалах горных работ, в хвостах обогатительных фабрик, в продуктах дробления и обогащения полезных ископаемых.

Пробой называется порция материала, отобранная механическим способом из скопления полезного ископаемого в его естественном залегании или из скопления добытого минерального сырья, предназначенная для проведения тех или иных испытаний. Характер испытаний зависит от целевого назначения проб. Иногда это определение многочисленных и разнообразных свойств минерального сырья (например, технологические испытания проб), но чаще определение одного или нескольких специфических свойств (например, анализы проб на содержание полезных компонентов). В последнее время с расширением возможностей геофизических методов механический отбор проб все чаще заменяется определением свойств полезного ископаемого непосредственно в естественном залегании. В связи с этим понятие пробы отождествляется с проведением замера изучаемого свойства полезного ископаемого в массиве. Проба, отобранная механическим способом или с помощью геофизического замера, представляет собой единичное локальное наблюдение изучаемого свойства полезного ископаемого в некотором объеме. Как единичное наблюдение она обладает областью воздействия, которая определяется геометрией пробы, т. е. ее объемом, формой, размерами и ориентировкой.

Специфической особенностью опробования является несоизмеримость объемов отдельных проб с объемами опробуемых масс. Значение изучаемого свойства по единичной пробе, как правило, не соответствует среднему его значению во всем опробуемом объеме. Оно вычисляется по совокупности достаточно большого количества единичных проб с учетом их геометрии, геометрии разведочной сети и опробуемых объемов недр.

Наиболее распространенным геолого-разведочным параметром, устанавливаемым с помощью опробования, является содержание полезных компонентов или вредных примесей в залежах, отбитых и перемешанных минеральных массах. Поэтому основные положения методики опробования рассматриваются применительно к оценкам содержаний. В равной степени это относится и к другим геолого-разведочным параметрам, характеризующим особенности внутреннего строения полезных ископаемых.

1.7.1. Способы отбора проб в разведочных горных выработках

В зависимости от целевого назначения опробования из разведочных горных выработок отбираются линейные, объемные, реже площадные или точечные пробы. Линейные пробы обеспечивают сплошное опробование разведочного пересечения и практически любую детальность изучения текстуры полезного ископаемого. Объемные (реже площадные) пробы отбираются для контроля линейных проб, изучения технологических и технических свойств и для рядового опробования специфических видов минерального сырья. Точечные пробы используются для изучения некоторых свойств полезных ископаемых или вмещающих пород и значительно реже – для рядового опробования.

Линейные пробы отбираются бороздовым, пленочным или шпуровым способами.

Бороздовый способ пользуется наибольшим распространением и является практически универсальным. Он состоит в том, что вдоль обнаженной поверхности полезного ископаемого по заранее намеченной линии вырубается или вырезается борозда прямоугольного сечения. Отбор бороздовых проб может производиться вручную с помощью зубила или молотка или механизированными способами. Обязательным условием качественного пробоотбора является полноценный сбор отбитого материала и выдержанность поперечных сечений борозд на всем протяжении. Перед взятием бороздовой пробы обнаженная поверхность выравнивается и обмывается водой.

Ручной способ пробоотбора с помощью зубила и молотка характеризуется низкой производительностью и невыдержанностью поперечных сечений борозд. Механические способы пробоотбора с применением перфораторов и отбойных молотков также не обеспечивают выдержанных сечений борозд и полного сбора отбитого материала. Наиболее совершенный способ отбора бороздовых проб обеспечивается с помощью пробоотборников режущего действия конструкции ЦНИГРИ–ПЭР-1 с электроприводом и ППР-2 с пневматическим приводом. Они состоят из двух параллельных мелкоалмаэных дисков, позволяющих

отбирать глубоковрезанные «щелевые» пробы. При вырезании щелевых борозд шириной 3 мм и глубиной 5 мм обеспечиваются ровные поверхности стенок, и сводится до минимума возможное избирательное выкрашивание минералов.

Бороздовые пробы должны ориентироваться в направлении максимальной изменчивости свойств полезных ископаемых, которая часто совпадает с мощностью залежей. Однако строгое соблюдение этого требования осложняет операцию пробоотбора. В практике разведочных работ крутопадающие залежи обычно опробуются горизонтальными бороздами, а пологопадающие – вертикальными. При опробовании поверхностных горных выработок бороздовые пробы отбираются: в канавах – по дну, в шурфах – по одной или двум стенкам. В квершлагах, ортах, гезенках и восстающих опробуются одна или обе противоположные стенки, в штреках – кровля или забой. Борозды отбираются всегда на одной и той же заранее заданной высоте (примерно на 1–1,2 м от почвы выработки). Каждая проба отбирается полностью на всю мощность залежи, от ее висячего до лежачего бока, и представляет собой «сквозную» бороздовую пробу. Чтобы убедиться в отсутствии промышленной минерализации, в висячем и лежачем боках залежи на продолжении «сквозной» борозды отбираются контрольные пробы.

Если отдельные участки сквозной борозды отбираются и изучаются самостоятельно, то они называются секционными, или интервальными пробами. Границы секционных проб устанавливаются по совокупности геолого-физических данных, поэтому их длина, как правило, различна. При интервальном опробовании все частные пробы имеют одинаковую длину, которая устанавливается заранее.

Пленочные пробы отличаются от бороздовых проб предельно малой глубиной отбойки. Идея и разработка методики пленочного опробования принадлежит Д.А. Зенкову. Пленочные пробы отбираются по ранее намеченной линии с помощью многозубкового молотка, что способствует выдержанности поперечных сечений борозд, снижает вероятность избирательного выкрашивания минералов и обеспечивает одновременно высо-

кую достоверность опробования. Производительность пленочного опробования в 3– 4 раза выше бороздового.

Шпуровое опробование заключается в сборе буровой пыли в процессе бурения специальных или отбойных шпуров. Для улавливания материалов проб применяются патрубки (или тройники) и пылеулавливатели, обеспечивающие сбор от 70 до 95 % буровой пыли. При однородном составе пробы потери пыли не оказывают влияния на достоверность результатов анализа проб, но при заметных различиях в твердости и крупности рудных и породообразующих минералов потери становятся избирательными и приводят к появлению систематических погрешностей пробоотбора. Бурение шпуров производится обычными или колонковыми перфораторами.

Бороздовый способ отбора рядовых проб является главным на стадиях предварительной и детальной разведок. Пленочный и шпуровой способы находят широкое применение в условиях эксплуатационнной разведки.

Объемные пробы отбираются валовым способом, а для отбора площадных проб используется задирковый способ.

При валовом способе в пробу отбирается вся масса полезного ископаемого, отбитая с заданного интервала в процессе проходки горной выработки. Массы валовых проб зависят от их назначения. Для рядового опробования специфических видов минерального сырья (главным образом полезных минералов) контрольные и лабораторные технологические пробы отбираются массой в сотни килограммов – первые тонны. При отборе полупромышленных и фабричных технологических проб массы проб достигают десятков, сотен и даже тысяч тонн. Если масса отбитого полезного ископаемого заведомо превышает необходимую массу валовой пробы, она сокращается путем отбора в пробу каждой *n*-ой лопаты, бадьи или вагонетки.

Валовое опробование обеспечивает максимальную достоверность результатов испытаний проб и их наиболее высокую представительность, однако отличается низкой производительностью, высокой себестоимостью и сложностью пробоотбора, если разведочной выработкой вскрывается не только полезное ископаемое, но и вмещающие породы.

При задирковом способе со всей обнаженной поверхности полезного ископаемого отбивается (задирается) ровный слой, который поступает в пробу. Отбойка задирковых проб производится вручную и представляет собой весьма трудоемкий процесс. Задирковым способом пользуются в исключительных случаях, главным образом при разведке весьма тонких жил с крайне неравномерным размещением полезных минералов.

Точечные пробы отбираются штуфным, точечным, горстьевым способами и способом «пунктирной борозды».

Штуфной способ заключается в отбойке отдельных монолитных кусков (штуфов) полезного ископаемого или вмещающих пород массой 1–2 кг. Этот простейший и весьма оперативный способ пробоотбора широко используется при изучении важнейших технических, физических и химических свойств полезных ископаемых – объемных масс, влажности, пористости, магнитной восприимчивости, содержания породообразующих окислов и др., если пространственная изменчивость изучаемого свойства невелика.

При точечном способе проба составляется из небольших кусочков полезного ископаемого, отбитых с заданного участка обнаженной поверхности горной выработки. Точки отбора элементарных проб располагаются на опробуемой поверхности в строго определенном порядке, например, в узлах квадратной или прямоугольной сети. Элементарные пробы отбиваются зубилом и молотком или выбуриваются с помощью механических пробоотборников. Общая масса пробы достигает нескольких килограммов.

Горстьевой способ (или способ вычерпывания) отличается от точечного способа тем, что элементарные пробы отбираются не из обнаженных стенок горных выработок, а из отбитой массы полезного ископаемого, наваленной у забоя после отладки. Элементарные пробы отбираются по сетке непосредственно с поверхности навала, либо «вычерпываются» из лунок для предупреждения систематических погрешностей, связанных с избирательными потерями обогащенной рудной мелочи.

Способ «пунктирной борозды», применявшийся при опробовании уральских колчеданных месторождений и описанный

во многих руководствах, заключается в том, что по направлению максимальной изменчивости залежи отбивается не сплошная, а прерывистая борозда. Этот способ обеспечивает достоверные результаты опробования только в условиях практически равномерного размещения полезных минералов и при выдержанных физико-механических свойствах руд.

Главный недостаток всех точечных методов пробоотбора заключается в том, что разведочные пересечения опробуются не сплошь, а только выборочно в отдельных точках. Несмотря на более высокую производительность и низкую себестоимость точечные методы не следует применять для отбора рядовых проб, особенно на допроектных стадиях геолого-разведочных работ. Каждое разведочное пересечение является единственным направлением сплошного вскрытия полезного ископаемого и поэтому должно быть подвергнуто сплошному опробованию.

1.7.2. Способы отбора проб в разведочных скважинах

При бурении колонковых скважин материалом пробы служит керн, а при низком выходе керна – керн и шлам. Полнота выхода керна зависит от физико-механических свойств полезных ископаемых, режима и техники бурения. Выход керна оценивается линейным способом как отношение длины керна к длине пробуренного интервала и весовым способом как отношение фактической массы поднятого керна к расчетной его массе для пробуренного интервала.

Выход керна колеблется в широком интервале. В соответствии с действующими инструкциями удовлетворительным считается линейный выход керна выше 70 %. Однако в настоящее время в связи с переходом на алмазное и твердосплавное бурение требования к полноте выхода керна должны быть существенно повышены. При разведке многих месторождений даже незначительные потери керна связаны с избирательным истиранием хрупких полезных минералов – киновари, флюорита, вольфрамита, молибденита и др. (рис. 1.14). Повышение выхода керна достигается применением более совершенных технических средств: двойных колонковых труб с вращающейся наружной и

неподвижной внутренней трубой, тройных колонковых труб с разъемной внутренней гильзой, съемных керноприемников различных конструкций, а также оптимизацией режима бурения.

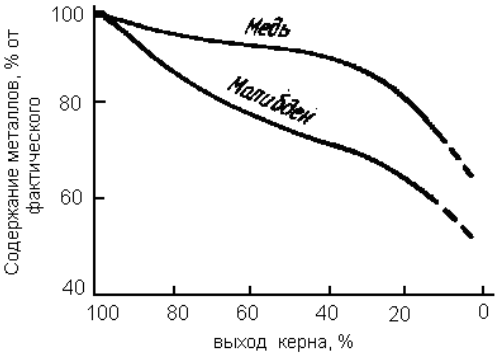


Рис. 1.14. Изменение средних содержаний меди и молибдена в зависимости от линейного выхода керна по данным Алмалыкской ГРЭ)

По данным Центрально-Казахстанского ГУ, применение совершенных технических средств колонкового бурения и съемных керноприемников (комплекса ССК-59) обеспечило возможность бурения без подъема снаряда, повышение выхода керна с 78 до 100 %, снижение расхода алмазов с 0,67 до 0,2 карата/м и повышение скорости бурения примерно в два раза. Анализ мирового опыта алмазного и твердосплавного бурения показывает, что при правильном использовании современного бурового оборудования и инструмента выход керна практически не зависит от диаметра скважины. Так, например, применение двойных колонковых труб со съемным керноприемником при алмазном бурении сильно дробленых и трещиноватых гранитов Корнуола, пронизанных густой сетью кварц-оловоносных прожилков, позволило получить столбики керна длиной 1,5–2 м с диаметром 23,8–33,3 мм при линейном выходе керна 92–98 %.

Для отбора пробы керн раскалывают по его длинной оси вручную или с помощью гидравлического кернокола. Одна половина (или четверть) керна идет в пробу, а другая – хранится в

качестве дубликата. Более совершенный способ отбора керновой пробы – распиливание керна или вырезание из него продольной борозды небольшого сечения. Для распиливания керна с помощью дисковых алмазных пил сконструированы специальные камнерезные станки (станок УКС-2 конструкции СГИ, многодисковый станок конструкции А.А. Боровских и др.). При отборе пробы вдоль продольной оси керна срезается сегмент толщиной 10–15 см, который подлежит хранению, материал распила (мука) используется в качестве рядовой пробы и направляется на анализ, а оставшаяся часть керна идет для изготовления шлифов и может служить материалом для технических и технологических проб.

Отбор малогабаритных бороздовых, в частности геохимических проб, ориентированных вдоль длинной оси керна, производится методом фрезерования с помощью станка конструкции М.Н. Альбова и В.Л. Чебышева. Станок обеспечивает выпиливание борозды шириной от 3,5 до 8 мм и глубиной до 12 мм, представительность которой практически эквивалентна представительности керновой пробы.

При низком выходе керна, а также когда есть основание предполагать возможность избирательного его истирания, помимо керновых проб дополнительно собирается буровой шлам и муть. Пробы шлама и мути берутся с тех же интервалов скважины, с которых отбираются керновые пробы. Шлам отбирается непосредственно из шламовой трубы и дополнительно (вместе с мутью) – у устья скважины. Проба шлама и мути является объединенной из материала, собранного с опробуемого интервала в шламовой трубе и у устья скважины.

Вопрос о наличии или отсутствии избирательного истирания решается сопоставлением результатов анализов сопряженных керновых и шламовых проб. При наличии избирательного истирания содержания компонентов по керновым и шламовым пробам систематически расходятся, а при его отсутствии – оказываются близкими. Результаты анализов шлама и мути нельзя использовать для определения средних содержаний полезных компонентов, вследствие их низкой достоверности. Часть шлама и мути неизбежно теряется, некоторые сульфиды и благородные

металлы флотируются промывочным раствором и уходят в свободный слив (или впадают обратно в скважину) шлам засоряется и разубоживается материалом вмещающих пород, а вынос бурового шлама запаздывает по сравнению с продвижением забоя скважины. При наличии избирательного истирания керна необходимо совершенствовать методику пробоотбора, используя все существующие технические средства и добиваться максимально высокого выхода керна.

Опробование стенок скважин возможно и после извлечения керна с помощью специальных пробоотборников и стреляющих грунтоносов различных систем, однако достоверность результатов при этом, как правило, невысокая.

При бескерновом, ударно-канатном и роторном бурении пробой служит буровой шлам, поднимаемый из скважины с пробуренного интервала. В зависимости от диаметра скважин массы проб с l пог. м бурения могут изменяться от десятков до сотен **килограммов.** Материал пробы, представляющий собой жидкую буровую грязь, поднимается из скважины желонкой и сливается в приемный железный бак. Небольшая крупность частиц и хорошая перемешанность буровой грязи позволяет сокращать массы отбираемых проб до нескольких килограммов с опробуемого интервала. Сокращение проб производится специальными делителями или вычерпыванием непосредственно из бака с помощью пробоотборников. При бурении станками с погруженными пневмоударниками (типа БА-100-М), когда очистка скважины производится воздушно-водяной смесью под давлением до $8–10^5$ Па, опробование может производиться специальными шламоуловителями конструкции М.Н. Альбова и Н.В. Стукова.

При ручном или механическом ударно-вращательном бурении пробы отбираются из скважин с помощью желонок, ложек или змеевиков. Для получения более или менее достоверных результатов при опробовании рыхлых, неустойчивых и обводненных полезных ископаемых, в частности россыпей, необходимо, чтобы продвижение обсадных труб опережало продвижение забоя скважины. Бурение в этих случаях осуществляется желонками, а пробой с пробуренного интервала служит подня-

тая буровая грязь. При опробовании сыпучих, но не обводненных полезных ископаемых в качестве буровых наконечников используются ложки, с помощью которых материал пробы поднимается из скважины. Для отбора качественных проб обсадные трубы должны продвигаться непосредственно за продвижением бурового наконечника.

Опробование мягких и пластичных полезных ископаемых осуществляется с помощью змеевика или грунтоносов различных систем.

1.8. Изучение месторождений в процессе геологоразведочных работ

Основные затраты на геологоразведочные работы связаны с проведением разведочных горных выработок и скважин. Эти затраты оправдаются только в тех случаях, если в результате всестороннего изучения разведочных горных выработок и скважин будет получена достаточно полная информация о месторождении как об объекте будущего промышленного освоения. С этой целью все пройденные горные выработки и пробуренные скважины подвергаются комплексному геологическому, геофизическому и минералого-геохимическому изучению для выяснения особенностей геологического строения участка, количества и качества запасов полезного ископаемого, технологических свойств минерального сырья и горно-геологических условий эксплуатации месторождения.

Результаты наблюдений в горных выработках и скважинах фиксируются в виде зарисовок, фотографий, описаний, замеров различных свойств, сопровождаются отбором образцов и проб полезного ископаемого и вмещающих пород. Совокупность операции по созданию первичных документов, отражающих результаты наблюдений, обычно называют геологической документацией горных выработок и скважин.

Первичные документы имеют исключительно важное значение как основа для создания геологической модели месторождения и как единственный архивный материал, сохраняющийся после его разведки. Законодательством РК о недрах особо пре-

дусматривается ответственность предприятий и организаций, осуществляющих геологическое изучение недр за сохранность геологической и исполнительно-технической документации, образцов горных пород и руд, керна, дубликатов проб полезных ископаемых, которые могут быть использованы при дальнейшем изучении недр, разведке и разработке полезных ископаемых.

В процессе разведки выполняется комплекс топогеодезических и маркшейдерских работ, геологических, минералого-геохимических наблюдений, по совокупности которых составляется отчет о результатах разведочных работ, графические модели-разрезы, карты, проекты, блок-диаграммы, объемно-макетные модели и производится геолого-экономическая оценка месторождения.

1.8.1. Топогеодезические и маркшейдерские работы

Применением топогеодезических и маркшейдерских работ обеспечивается графическая основа для составления крупномасштабных геологических карт, геолого-разведочных разрезов и планов [4].

Топографические и маркшейдерские съемки выполняются в единой системе координат, для чего на территории месторождения и рудного поля создается триангуляционная сеть местного значения. Между местными триангуляционными пунктами прокладывается система полигонометрических и нивелирных ходов, точки которых образуют опорную съемочную сеть, а на площади месторождения проводятся теодолитные, тахеометрические, мензульные или стереофотограмметрические съемки, по данным которых составляются топографические планы поверхности в масштабах от 1:10 000 до 1:500. Линии разведочных профилей, устья разведочных выработок и скважин привязываются с помощью теодолитных ходов и геометрического нивелирования.

Маркшейдерские работы включают ориентирно-соединительные съемки, подземную теодолитную и вертикальную съемки, съемку подробностей в горных выработках, расчет координат забоев и разведочных пересечений скважин. На основании перечисленных съемок и расчетов составляются марк-

шейдерские планы масштаба 1:1000 и 1:500, которые служат основой для всех видов подземного геологического картирования и геометризации недр.

Точные топографические и маркшейдерские планы, выполненные в единой системе координат, необходимы для надежной увязки геолого-разведочных данных, составления разрезов, погоризонтных планов и других сводных документов, характеризующих геологическое строение и горно-геологические условия эксплуатации месторождения.

1.8.2. Геологическое изучение горных разведочных выработок

Геологическому изучению подвергаются все пройденные горные выработки и пробуренные скважины. Для оперативного направления геолого-разведочных работ необходимо, чтобы фиксация геологических наблюдений проводилась непосредственно вслед за проходкой разведочных выработок и бурением скважин.

К качеству первичных геологических документов предъявляются самые строгие требования. Они должны отличаться тщательностью выполнения, точно, объективно и с максимальной полнотой отражать наблюдаемые факты. Поэтому геологическая документация должна выполняться высококвалифицированными геологами, систематически изучающими данное месторождение. В период разведки месторождения качество первичной геологической документации периодически проверяется специальными ведомственными комиссиями. Результаты проверок достоверности геологической документации путем сличения ее с натурной оформляются специальными актами.

Первостепенными объектами геологической документации являются тела полезных ископаемых и вмещающие их породы. При изучении тел полезных ископаемых документируются: условия их залегания, морфологические черты, особенности строения, характер контактов с вмещающими породами. Детально изучаются текстуры, минеральный состав, зональность тел полезных ископаемых и околорудные изменения вмещаю-

щих пород. Особое внимание уделяется выявлению пространственных связей тел и обогащенных участков полезных ископаемых с геолого-структурными элементами: трещинами, складками, элементами прототектоники, породами определенного петрографического или литологического состава. На месторождениях осадочного происхождения особо детально изучается литологический состав и характер слоистости пород, их цвет, физическое состояние, проявления метаморфизма и выветривания. Породы, обладающие слоистыми текстурами, разделяются на слои и пачки с индексацией каждого слоя, а толщи неслоистых пород – на разновидности по литологический и фациальным признакам.

На месторождениях гидротермального происхождения особо тщательно описываются образования различных стадий, их пространственные взаимоотношения, зональность, связь полезной минерализации с изменениями вмещающих пород и элементами тектоники. Особо выделяются крупные послеминерализованные нарушения, по которым наблюдаются смещения отдельных участков тел полезных ископаемых.

Массовой геологической документации подлежат все пройденные на месторождении горные выработки и скважины. Специализированная геологическая документация применяется при изучении отдельных принципиально важных вопросов геологического строения, решение которых необходимо для правильного понимания условий формирования или закономерностей пространственного размещения полезного ископаемого.

При геологической документации разведочных выработок производится зарисовка их стенок, кровли или забоев в масштабах, обеспечивающих отчетливое графическое изображение отдельных текстурных разновидностей полезного ископаемого и деталей геологического строения документируемого участка. Наиболее распространенными масштабами массовой подземной геологической документации являются масштабы 1:25 и 1:50.

В разведочных канавах зарисовываются дно канавы и одна стенка (рис. 1.15). В шурфах – две противоположные стенки, реже все четыре стенки и забой. При документации квершлагов, ортов, гезенков и восстающих зарисовывается одна, реже обе

стенки. Документация штреков проводится по кровле, а при пологих залеганиях жил – по стенкам. Часто документации подвергаются и забои штреков. В участках, где можно наблюдать взаимоотношения гидротермальных продуктов различных стадий минерализации, характерные текстуры полезных ископаемых, особенности строения их контактов, взаимоотношения с магматическими породами различного возраста или другие детали геологического строения, существенные для понимания условий формирования полезного ископаемого, зарисовки выполняются в более крупных масштабах (1:10, 1:5), вплоть до зарисовок в натуральную величину.

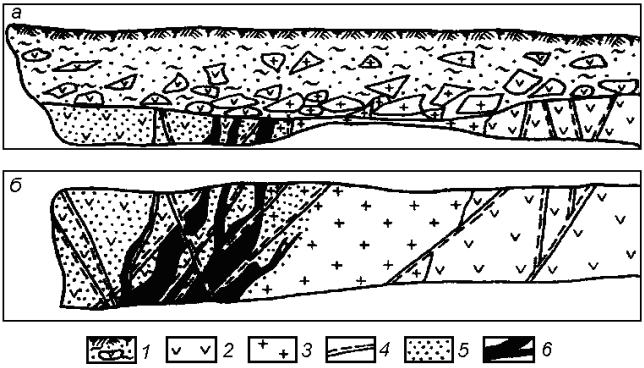


Рис. 1.15. Геологическая документация стенки (а) и дна (б) канавы:
1 – рыхлые отложения; 2 – андезито-дациты; 3 – гранит-порфиры; 4 – тектонические трещины; 5 – окварцевание; 6 – рудные жилы

Качество геологических документов в известной мере зависит от того, насколько удачно подобраны условные обозначения элементов геологического строения. Форма знаков геологической легенды должна способствовать изображению не только литологических особенностей пород, минерального состава полезного ископаемого и измененных вмещающих пород, но и элементов ориентировки слоистости, сланцеватости, флюидальности, гнейсовидности и других директивных структур.

Для повышения качества геологической документации в практике геологоразведочных работ используются фотогеологи-

ческие методы с последующим геологическим дешифрированием фотоснимков.

Фотосъемка хорошо вымытых поверхностей горных выработок производится с соблюдением требований, обеспечивающих получение масштабных снимков. По совокупности контактных отпечатков в выбранном для геологической документации масштабе составляется фотосхема, по которой производится геологическое дешифрирование. В результате дешифрирования составляется фотомаркшейдерская (фотограмметрическая) геологическая основа документируемого участка горной выработки, представляющая собой масштабную зарисовку геологических наблюдений.

Фотомаркшейдерская геологическая основа отражает сложность и многообразие геологического строения участка горной выработки, обеспечивая информацию об условиях залегания полезных ископаемых и вмещающих пород, элементах их складчатой и разрывной тектоники, характере контактов и текстурных особенностях, а также о размещении и качестве отобранных бороздовых проб.

Создание фотомаркшейдерской геологической основы не исключает необходимости непосредственных наблюдений в горных выработках, т. к. далеко не все особенности строения и состава полезного ископаемого находят отображение на фотоснимках. Минеральный состав полезного ископаемого и вмещающих пород, характер их околорудных и фациальных изменений, структурные взаимоотношения агрегатов полезной минерализации и вмещающих пород, характер выполнения тектонических трещин и многие другие особенности строения и состава изучаемых объектов могут быть выявлены только путем непосредственных наблюдений. Без тщательных дополнительных исследований визуальные наблюдения в масштабе фотоснимка могут привести к неверным заключениям. Так, например, визуально наблюдаемые отчетливые пересечения жильных образований дайками магматических пород могут быть приняты за доказательство послерудного возраста даек, в то время как детальными макро- и микроскопическими исследованиями штуфов и шлифов часто выявляются тонкие рудные просечки и

признаки гидротермального изменения дайковых пород, указывающие на экранирующую роль даек.

Применение фотомаркшейдерской основы освобождает геологов от трудоемкого процесса зарисовок с натуры и обеспечивает получение высококачественных, предельно детальных и объективных графических изображений документируемых поверхностей. При использовании дешифрированных фотоснимков как графической основы для совершенствования и корректирования результатов наблюдений непосредственно в горных выработках фотогеологические методы могут быть рекомендованы к широкому внедрению в практику геологоразведочных работ, т. к. они обеспечивают резкое улучшение детальности и качества первичных геологических документов. Методы фотодокументации имеют большие перспективы для дальнейшего совершенствования по пути применения цветных и спектрозональных съемок, а также в направлении механизации и автоматизации отдельных операций фотогеологических работ.

Описание результатов геологических наблюдений как необходимое дополнение к зарисовке сопровождает каждый участок зарисовки или фотогеологической документации. Оно должно содержать только те сведения, которые не удается отобразить графическим способом (структурно-текстурные особенности полезных ископаемых и вмещающих пород, их минеральный состав, форма и расположение минеральных скоплений, борозд или зеркал скольжения, выполнение трещинных структур, цвета вмещающих пород и т. д.).

Отбор образцов руд и вмещающих пород в процессе документации разведочных выработок преследует две основные цели: составление эталонных коллекций и оперативное изучение каменного материала.

Эталонные коллекции типичных видов полезных ископаемых (по природным типам, минеральным ассоциациям и текстурным особенностям) и вмещающих пород (раздельно неизмененных и измененных) должны создаваться в каждой разведочной партии, храниться в общедоступном месте и систематически пополняться. К каждому образцу эталонной коллекции прилагаются прозрачный, а если необходимо, то и полирован-

ный шлифы, которые в совокупности составляют шлифотеку. Эталонная коллекция является каменным приложением к легенде. Она способствует единообразию диагностики и описания горных пород и полезных ископаемых всеми техническими исполнителями.

Оперативное изучение каменного материала производится систематически на протяжении всего процесса камеральной обработки разведочных данных. Из отобранных образцов изготовляются прозрачные и полированные шлифы, отбирается материал для специальных исследований и анализов. На первых этапах разведочных работ количество таких образцов бывает довольно большим, а по мере изученности месторождения оно постепенно сокращается. Все отбираемые образцы снабжаются этикетками, нумеруются и подписываются, а места их отбора показываются на зарисовках.

1.8.3. Геологическое изучение разведочных скважин

При бурении колонковых скважин изучение геологического строения производится по керну, а при бескерновом бурении – по буровой грязи или по шламу. Кроме того, используются сведения о режиме бурения – скорости бурения в пределах каждого рейса, изменения скоростей бурения на отдельных интервалах, случаи провалов бурового снаряда и другие, способствующие выявлению зон тектонически ослабленных пород, нарушений, карстовых полостей и других участков, различных по физико-механическим свойствам.

При документации колонковых скважин керн тщательно изучают, зарисовывают и фотографируют. Для обеспечения сохранности и последовательности расположения отдельных плашек керн извлекают из колонковой трубы с помощью специальных керноприемников.

Главное значение при изучении керна имеет его описание. Когда непосредственно в керне удается наблюдать текстурные особенности полезного ископаемого, взаимоотношения прожилков различного состава, контакты различных пород или какие-либо другие факты, существенные для понимания особенностей

строения или генезиса месторождения, он зарисовывается или фотографируется.

Длина пробуренного интервала скважин за очередной рейс сравнивается с длиной керна, извлеченного из скважины за тот же рейс, и по расхождению замеров вычисляется линейный выход керна.

Отобранный керн в порядке поступления укладывается в специальные ящики и направляется в кернохранилище. По результатам геологической документации составляется колонка пересеченных скважиной пород. В зависимости от глубины скважины и сложности геологического разреза масштаб построения колонки выбирается от 1:100 до 1:500. При составлении колонки фактические наблюдения по керну обобщаются, корректируются по записям в буровом журнале по данным каротажных геофизических работ и распределяются на весь перебуренный интервал без пропусков за неполный выход керна. Геологическая колонка служит основой для составления паспорта скважины.

В паспорте отображается конструкция скважины, указываются ее номер и координаты, границы каждого рейса и соответствующие им линейные выходы керна, показываются результаты инклинометрических замеров, каротажных работ, интервалы отбора различных видов проб и результаты их анализов. Каждая разновидность полезного ископаемого и вмещающих пород сопровождается геологическим описанием с указанием их контактов, глубин залегания и стволовых мощностей.

При документации скважин, как и при геологическом изучении горных выработок, отбираются образцы полезных ископаемых и вмещающих пород для более детального изучения их состава и для пополнения эталонной коллекции.

Документация скважин бескернового бурения обеспечивает данные только для суждения о составе полезных ископаемых и вмещающих пород. Поэтому качество записей в буровых журналах и режиме бурения и результаты каротажных исследований приобретают при их изучении особо важное значение.

1.8.4. Минералого-геохимические исследования

Минералого-геохимическому изучению подвергаются пройденные разведочные горные выработки и скважины, а также образцы и пробы, отобранные из них в процессе геологической документации.

При камеральном изучении каменного материала решаются две важнейшие задачи:

– изучается минеральный и химический состав полезного ископаемого и вмещающих пород, их структурно-текстурные особенности, распределение полезных компонентов по минеральным составляющим и другие свойства, определяющие выбор наиболее рациональных методов технологии переработки минерального сырья;

– выясняются минералого-геохимические особенности рудных скоплений, последовательность процессов минералообразования, условия формирования месторождения.

Решение обеих задач осуществляется на основе макро- и микроскопического изучения штуфов, прозрачных и полированных шлифов, протолочек и мономинеральных фракций с применением специальных методов исследования – минералогических, спектральных, рентгеноскопических, рентгеноструктурных, термических, химических и микрохимических анализов, электронно-микроскопических исследований, инфракрасной спектрометрии, исследований с помощью рентгеновских микроанализаторов и других современных методов. При разведке сложных постмагматических месторождений целесообразно проведение специального минералогического и геохимического картирования с последующей геометризацией выявленных минералого-геохимических особенностей полезного ископаемого. С этой целью весь разведочный объем недр опробуется по регулярной сети, а отобранные пробы подвергаются детальному минералогическому или минералого-петрографическому изучению.

Знание закономерностей пространственного размещения минеральных ассоциаций различных стадий процесса минералообразования позволяет прогнозировать изменения качества минерального сырья на флангах и на глубоких горизонтах

вскрытых тел полезных ископаемых, а знание зональности метасоматитов обеспечивает уверенную увязку рудных интервалов и способствует выявлению слепых залежей полезных ископаемых.

По всем разведочным горным выработкам и скважинам проводится комплекс геохимических исследований по данным их сплошного геохимического опробования.

Отбор геохимических проб обычно производится способом пунктирной борозды, путем отбойки мелких кусочков, размером 3–4 см на расстояниях от 0,5 до 2 м друг от друга. Отобранные кусочки с интервалов длиной от 2 до 10 м объединяются в одну пробу 150–200 г. Однако лучше отбирать сплошные малогабаритные бороздовые пробы длиной от 2 до 5 м, что способствует получению значительно более стабильных данных.

Отобранные пробы подвергаются приближенно-количественному спектральному анализу на полный комплекс главных и сопутствующих полезных компонентов. По результатам анализов проб отстраиваются линии изоконцентраций главных и сопутствующих полезных компонентов. Этими изолиниями очерчиваются эндогенные ореолы рассеяния полезных компонентов вокруг промышленно-ценных участков залежей, которые могут рассматриваться как внешние зоны единых геохимических полей, определяющих общие масштабы полезной минерализации (рис. 1.16).

Использование данных геохимического опробования для оценки и прогнозирования перспектив выявления новых участков полезных ископаемых, основано на том, что:

– минеральный и химический состав эндогенных ореолов аналогичен составу промышленно-ценных участков залежей полезных ископаемых;

– размеры ореолов зависят от концентрации соответствующих элементов в телах полезных ископаемых, от условий их залегания и от физико-химических особенностей вмещающих пород;

– в строении ореолов устанавливаются элементы вертикальной и горизонтальной зональности. Часть элементов концентрируется преимущественно на нижних горизонтах развития промышленно-ценных залежей, в то время другая их часть об-

наруживает отчетливую тенденцию к накоплению в верхних горизонтах месторождений.

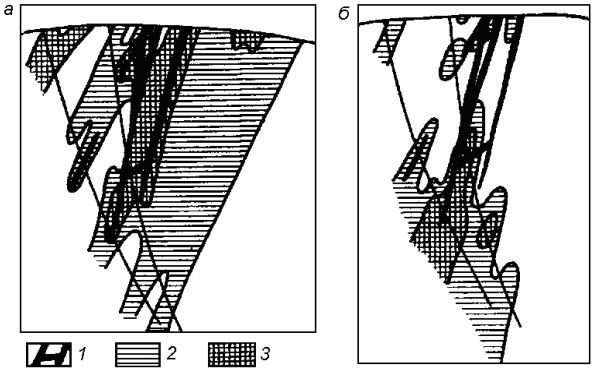


Рис. 1.16. Аддитивные надрудные (а; Pb+Ag+As+Sb) и подрудные (б; Cu+Bi+Be+W) ореолы вокруг золоторудных жил (по С.В. Григоряну): *1 – рудные жилы; 2 – ореолы; 3 – максимальные концентрации в ореолах*

Данные о зональности ореолов используются для оценки нижних горизонтов, увязки соседних разведочных сечений и направления дальнейших разведочных работ.

1.8.5. Геофизические исследования в горных выработках и скважинах

Геофизические методы исследования широко используются при разведке месторождений не только как средства для изучения дополнительных разрезов и опробования полезных ископаемых, но и как вспомогательные методы для:

– выявления рудовмещающих структур, а иногда и залежей полезных ископаемых, в процессе крупномасштабного геологиче**ского** картирования рудных полей и месторождений;

– повышения качества геологической документации разведочных горных выработок и скважин в процессе их геологического картирования;

– получения дополнительных гидрогеологических и инженерно-геологических сведений [12].

Геолого-геофизическая документация горных выработок. Сплошное геофизическое картирование горных выработок в процессе их геологической документации, как правило, не производится. Только при разведке некоторых видов минерального сырья параллельно с геологической документацией горных выработок в них систематически проводятся геофизические наблюдения. Так, например, при разведке месторождений радиоактивных руд геологическая документация горных выработок сопровождается проведением гамма-съемок, а при изучении зон окисления урановых месторождений, битуминозных пород, месторождений шеелита и алмазов для документации горных выработок используются люминесцентные методы.

Геофизические методы документации скважин играют ведущую роль при их геологическом изучении. Помимо геологической документации разрез каждой разведочной скважины изучается с помощью комплекса каротажных работ. Каротаж скважин проводится для литологического расчленения разреза, уточнения мощностей и положения контактов отдельных разновидностей пород, определения их плотности, пористости, радиоактивности, водообильности, магнитных и других физических свойств. По результатам комплексных каротажных работ существенно корректируются геологическая колонка скважин и литологические разрезы слоистых толщ, определяются опорные и продуктивные горизонты, коррелируются данные по смежным скважинам. Кроме того, методы скважинной геофизики применяются при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Наиболее широко распространены электрические, ядерно-физические и магнитные методы каротажа. Из методов электрического каротажа наибольшее распространение получили методы, основанные на изучении потенциалов естественной поляризации пород – метод самопроизвольной поляризации (ПС), на изучении удельных электрических сопротивлений пород – метод кажущихся сопротивлений (КС) и на изучении потенциалов вызванной поляризации пород – метод вызванной поляризации (ВП).

С помощью гамма-каротажа (ГК) возможно выявление уранового оруденения, залежей калийных солей, фосфоритов, титановых и цирконовых россыпей. При использовании высокочувствительных сцинтиллиционных радиометров применение гамма-каротажа позволяет провести литологическое расчленение и корреляцию геологических разрезов скважин.

Гамма-гамма каротаж (ГГК) – применяется для расчленения пород по плотности и пористости. С его помощью в разрезе скважин выделяются прослои плотных известняков и рыхлых песчаников, силлы эффузивных пород, прослои углей, брекчированные зоны дробления и другие геологические образования, заметно различающиеся по плотности или пористости.

Различными видами нейтронного каротажа (НК, ННК и НГК) выделяются водообильные, нефтеносные и газоносные горизонты, породы с повышенными концентрациями бора, хлора и серы. Положительными аномалиями отмечаются плотные известняки, доломиты, многие изверженные и метаморфические породы.

Магнитный каротаж (МК) используется для выявления железосодержащих пород или изменения вертикальной составляющей магнитного поля. По магнитограммам можно судить о положении и мощности слоев, содержащих ферромагнитные минералы и пласты, заметно различающиеся по магнитной восприимчивости (известняки, кварциты, зоны сульфидной вкрапленности).

При геологической документации разведочных скважин на колчедан, нефть и газ используются также методы термического и акустического каротажа.

Наилучшее решение геологических задач при документации разведочных скважин обеспечивается по данным комплексных геофизических исследований. Рациональный комплекс методов каротажа определяется задачами разведки и геолого-геофизическими свойствами конкретных разрезов скважин. Чаще всего комплексируются различные методы электрического и ядерно-физического каротажа.

Геофизические методы, имеющие целью контроль технического состояния скважин включают в себя инклинометрию и

кавернометрию. С помощью инклинометрии скважин определяются углы отклонения оси скважины от вертикали (зенитное искривление) и от плоскости разведочного разреза (азимутальное искривление). Измерения зенитных углов производится во всех скважинах глубиной более 100 м, а измерения азимутальных углов – при глубинах скважин более 200 м. Искривления замеряются минимум через каждые 25–30 м по мере углубления скважины. Своевременное производство замеров обеспечивает контроль за положением забоя скважины и позволяет вовремя принимать меры для исправления резких отклонений ее оси от проектного положения.

Углы и азимуты искривления скважин измеряются с помощью электрических инклинометров или фотоинклинометров. Для измерения зенитных углов в современных электрических инклинометрах используется отвес, а для измерения азимутальных углов – буссоль. Величины сопротивлений, пропорциональные азимутам и углам наклона, с помощью реохордов и топосъемных колец измеряются и фиксируются на пульте управления. Фотоинклинометры позволяют сфотографировать на пленку положение буссоли и указателя наклона.

В скважинах, пробуренных в породах с повышенной магнитной восприимчивостью, измерения проводятся гироскопическими инклинометрами. Точность замера зенитных искривлений ±(0,5–1°), а азимутальных – около ±(3–4°). Результаты измерений зенитных и азимутальных углов учитываются при построении геологических разрезов и при вычислении истинных мощностей тел полезных ископаемых.

Кавернометрия проводится для определения фактических диаметров скважин. Изменение диаметров скважин связано с обрушением их стенок на участках неустойчивых пород (пески, тектонические зоны и др.). Данные кавернометрии используются при изучении технического состояния скважины и для расчета поправок в интерпретацию каротажных данных.

1.8.6. Изучение технологических свойств минерального сырья

Изучение технологических свойств полезных ископаемых проводится на специальных технологических пробах, а также путем технологического картирования недр, для:

– выявления принципиальной возможности и экономической целесообразности промышленного использования полезного ископаемого;

– установления технологических типов минерального сырья, закономерностей пространственного размещения участков полезных ископаемых, различных по своим технологическим свойствам, условий их залегания, морфологии и строения;

– выбора метода, наиболее рациональной схемы и технологического режима переработки полезного ископаемого каждого технологического типа;

– установления технико-экономических показателей переработки минерального сырья для геолого-экономической оценки месторождения.

Характер технологических испытаний проб и методика их проведения весьма разнообразны. Они зависят от вида полезного ископаемого, его природных свойств, направления использования минерального сырья и стадии геолого-разведочных работ.

Технологические свойства большинства рудных полезных ископаемых предопределяются их химическим и минеральным составом, структурными и текстурными особенностями, составом вмещающих пород, гранулометрическими характеристиками зерен полезных минералов, количеством полезных компонентов и вредных примесей и особенностями их распределения по минеральным составляющим. Поэтому технологическим испытаниям руд обогатительными, химическими и металлургическими методами предшествует их детальное минералого-геохимическое изучение.

Технологические свойства полезных кристаллов и минералов определяются выходом полезного компонента из горной массы и его специфическими свойствами, установление которых и составляет содержание технологических испытаний.

Отбору технологических проб предшествует прогноз технологических свойств и вероятных технологических сортов полезного ископаемого, основанный на совокупности известных геолого-минералогических данных.

В зависимости от масштабов технологических исследований и условий испытаний технологических проб они разделяются на лабораторные, полупромышленные и промышленные.

Лабораторные пробы отбираются на ранних стадиях разведочных работ, Отличаются сравнительно небольшими массами (от десятков до сотен килограммов) и испытываются в лабораторных условиях на специальных установках. По результатам испытаний лабораторных проб решается вопрос о принципиальной возможности промышленного использования полезного ископаемого, выбирается метод и качественная схема переработки минерального сырья. В случаях, когда по результатам лабораторных испытаний выявляется несколько технологических типов минерального сырья, качественные схемы переработки выбираются для каждого из них. Лабораторные испытания позволяют получить только приближенные характеристики, но не обеспечивают данными для уверенного суждения об экономической эффективности предполагаемых схем.

Полупромышленные пробы отбираются в процессе детальных разведочных работ для испытаний на укрупненных, непрерывно действующих установках. Массы полупромышленных проб обычно измеряются тоннами и зависят от производительности экспериментальной установки. По результатам полупромышленных испытаний уточняются качественные схемы, оптимальные технологические режимы переработки минерального сырья и устанавливаются их технико-экономические показатели.

Промышленные пробы отбираются при завершении детальных разведочных работ для испытаний на действующих обогатительных фабриках или металлургических заводах. Массы промышленных технологических проб достигают сотен тонн в зависимости от суточной производительности перерабатывающего предприятия. По данным промышленных испытаний уточняются технико-экономические показатели выбранных схем, корректируются технологические режимы переработки

минерального сырья и выявляются «узкие» места технологического процесса в целом.

Необходимым условием технологических исследований является представительность проб не только по содержанию полезных компонентов, но и по физическим свойствам, минеральному составу, текстурным и структурным особенностям полезного ископаемого.

Оценка важнейших технологических свойств минерального сырья возможна также путем систематического отбора большого числа групповых проб, равномерно размещенных по всему изучаемому объему недр с последующим их испытанием в малогабаритной механизированной обогатительной лаборатории (МОЛМ). Эти лаборатории позволяют производить измельчение, классификацию по крупности, гравитационное, флотационное и электрическое обогащение проб весом до нескольких килограммов. С использованием МОЛМ появляется возможность накопления массовой информации для оценки пространственной изменчивости технологических свойств минерального сырья, которая может быть использована при составлении планов и разрезов обогатимости полезного ископаемого.

1.8.7. Изучение горно-геологических условий эксплуатации месторождений

Горно-геологическими условиями эксплуатации определяются:

– способ вскрытия месторождения, системы его разработки и продуктивность эксплуатационных работ;

– уровень возможных потерь и разубоживания полезного ископаемого при его добыче;

– гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки месторождения;

– природные факторы, осложняющие проведение горно-добычных работ. Изучение горно-геологических условий включает в себя оценку продуктивности месторождения (степени сосредоточения запасов в исследуемом объеме недр), условий залегания и морфологических особенностей промышленно-ценных скоплений полезного ископаемого (размеров, форм, уг-

лов падений, характера контактов с вмещающими породами), их внутреннего строения (анизотропии строения, степени и характера прерывистости), а также всех остальных факторов, определяющих условия проведения горно-добычных работ.

Горно-геологические условия эксплуатации месторождений изучаются параллельно с проведением разведочных выработок и скважин. Оценка условий залегания, размеров, морфологических особенностей и строения залежей полезных ископаемых как горно-геологических факторов не требует организации специальных исследований, т. к. может быть выполнена по сводным геологическим разрезам и планам. Для выявления же гидрогеологических, инженерно-геологических условий месторождения и физико-механических свойств пород и руд, а также для изучения особо неблагоприятных условий, осложняющих проведение горных работ, необходима организация специальных наблюдений.

Для изучения гидрогеологических условий месторождения в процессе бурения разведочных скважин замеряются уровни подземных вод и их температура, отмечаются случаи самоизливания вод, поглощения промывочной жидкости, выхода газов из скважин, провала бурового инструмента, изменения степени трещиноватости пород по стволу скважины. При проходке плывунов проводятся наблюдения за подъемом «пробок», т. е. масс водоносных песков, заполняющих нижние части скважин после удаления бурового снаряда. Высота «пробки» позволяет судить о степени плывунности песка и о величине гидростатического напора.

По данным электрокаротажных работ методами ПС и КС оцениваются пористость, проницаемость и водоносность пород. Для определения направления и скорости движения подземных вод по одиночным скважинам используется метод заряженного тела (МЗТ) в гидрогеологическом варианте.

Места притоков подземных вод в скважину устанавливаются с помощью резистивиметрии или термометрии. Кроме того, резистивиметрия применяется для изучения скоростей фильтрации подземных вод, путем периодических замеров удельного сопротивления искусственно засолоненной воды в скважине.

Термический каротаж находит широкое применение при криологических исследованиях, в частности, для установления границ долголетней мерзлоты.

Нейтронный гамма-каротаж (НГК) и нейтрон-нейтронный каротаж (ННК) позволяют расчленить геологические разрезы по их водообильности и оценить пористость водоносных (и нефтеносных) пород.

В процессе геологической документации разведочных горных выработок ведутся систематические гидрогеологические наблюдения за всеми водопроявлениями, фиксируются выходы трещинных вод, определяются их дебиты, химический и газовый состав, температура, связь с породами различного литологического состава, трещинными структурами и тектоническими нарушениями. По производительности водоотливного насоса, скорости наполнения водосборника или по замерам скоростей движения воды в водоотводном кювете периодически определяется суммарная величина притока подземных вод в горные выработки. При проходке горных выработок фиксируются все случаи прорыва подземных вод и появления плывунов, изменения цвета и состава вод, пучения, оползания и обрушения вмещающих пород. По коррозии рельсов, бетонных сооружений и спецодежды устанавливается степень агрессивности вод.

Инженерно-геологические наблюдения проводятся как в разведочных скважинах, так и в горных выработках. В скважинах, пробуренных по слабоцементированным и несцементированным породам, отмечаются их текстурные признаки, зернистость, консистенция, включения, признаки уплотнения и сопротивления микрогенерации. С помощью грунтоносов отбираются образцы (монолиты) на определение влажности, пористости, гранулометрического состава, фильтрационных свойств, углов естественного откоса, влагоемкости, водоотдачи и других физико-механических свойств.

При документации керна скальных пород отмечается их твердость и крепость, сланцеватость, слоистость, трещиноватость, густота и ориентировка трещин относительно оси керна, наличие закарстованных участков и др.

В отбираемых образцах определяются упругие и пластические свойства, удельные и объемные массы, влажность, морозоустойчивость и др.

В условиях многолетней мерзлоты по скважинам проводится комплекс криологических наблюдений. Для лабораторных исследований отбираются образцы мерзлых и немерзлых пород, по которым определяется их суммарная влажность, льдистость, удельные и объемные массы, величины относительного сжатия при переходе из мерзлого состояния в талое. Прочность пород исследуется как по мерзлым, так и по оттаявшим образцам.

Инженерно-геологические наблюдения в горных выработках включают в себя изучение трещиноватости горных пород, для чего производятся массовые замеры элементов залегания трещин, подсчеты количества трещин на единицу объема пород, выявляется генезис трещин, описывается строение брекчированных и катаклазированных зон.

При проведении разведочных работ в новых районах, должны быть выполнены необходимые геологические исследования по выявлению и оценке запасов местных строительных материалов и водных ресурсов для питьевого и технического водоснабжения будущего горного предприятия. В задачу инженерно-геологических исследований входит также выявление заведомо безрудных участков и площадок для выбора мест заложения горно-капитальных выработок, размещения отвалов, установления границ зон обнаружения, а также для проектирования объектов промышленного и гражданского строительства.

1.8.8. Обобщение первичных материалов и составление сводных документов

Первичные документы, отражающие результаты геологического, геофизического, минералого-геохимического, гидрогеологического и инженерно-геологического изучения разведочных скважин и выработок подвергаются дальнейшей камеральной обработке и обобщению. Сведения, полученные по разведочным пересечениям, увязываются между собой, а на их ос-

нове составляются сводные документы – геологические карты, разрезы, проекции, погоризонтные планы, планы и разрезы опробования с контурами продуктивных залежей полезных ископаемых, горно-геометрические графики, блок-диаграммы и объемно-макетные модели.

В процессе увязки и обобщения первичных наблюдений непрерывно корректируются представления о геологическом строении месторождения, условиях локализации тел полезных ископаемых, их форме, составе и внутреннем строении. По мере накопления фактических данных геологу приходится многократно возвращаться к анализу первичной документации разведочных выработок и скважин, выявлять новые связи и пересматривать ранее сложившиеся представления, приводя их в соответствие со всей совокупностью наблюденных фактов. Повышению качества и достоверности сводных документов способствует рациональная систематизация первичных сведений, обеспечивающая возможность их оперативного пересмотра.

Сводные документы создаются в единой системе координат на инструментальной топографической и маркшейдерской основе с единой легендой для всех участков разведываемого месторождения в красочном и штриховом вариантах.

Масштабы сводных геологических документов могут изменяться от 1:25000 до 1:100, в зависимости от их содержания, вида полезного ископаемого, сложности строения и масштабов разведываемых объектов. Так, например, геологические карты и разрезы рудных полей составляются в масштабах 1:5000–1:10 000, а геологические карты рудных месторождений или их участков – в масштабах 1:500–1:2000. Погоризонтные планы и геологические разрезы, характеризующие строение отдельных рудных тел, выполняются в масштабах 1:200–1:1000. Сводные документы, отражающие результаты разведки нефтяных и угольных месторождений, крупных железорудных бассейнов или месторождений минеральных солей, составляются в более мелких масштабах, а сводные документы по разведке месторождений драгоценных камней или пьезооптического сырья – в более крупных.

В зависимости от принятой системы разведочных работ выделяются главные и вспомогательные разрезы. При разведке месторождения системой штреков и ортов главный разведочный разрез совпадает с плоскостью горизонта, а при разведке гезенками или поверхностными буровыми скважинами, главным сечением является вертикальный поперечный разрез. Продольный разрез является главным только при разведке маломощных жильных тел.

В плоскости главного разведочного разреза производится оконтуривание залежей, и определяются основные геологоразведочные параметры, необходимые для подсчета запасов. Поэтому составление сводных документов целесообразно начинать с составления главных разведочных разрезов, контролируя и увязывая их со вспомогательными разрезами, которые составляются по двум взаимноортогональным направлениям.

Планы и разрезы опробования составляются в масштабах 1:200–1:500. На них наносятся все разведочные выработки и скважины, обозначаются места отбора проб и указываются результаты их анализов. На планах опробования с учетом комплекса кондиционных требований проводится оконтуривание залежей полезных ископаемых, для чего на них наносятся важнейшие элементы геологического строения, определяющие закономерности локализации продуктивных залежей.

Проекции рудных тел на вертикальные или горизонтальные плоскости представляют собой сводные документы, на которых отражается пространственное размещение подсчетных блоков запасов разных категорий и участков, сложенных различными природными и технологическими типами минерального сырья. Обычно пологопадающие залежи проектируются на горизонтальные плоскости, а крутопадающие – на вертикальные.

Для иллюстрации особенностей пространственного размещения важнейших свойств полезных ископаемых при обобщении материалов широко используются приемы геометризации недр с помощью изолиний. Наиболее распространенными горно-геометрическими документами являются графики изолиний мощностей, содержаний или линейных запасов полезных ископаемых, планы отметок почвы или кровли продуктивных зале-

жей, планы поверхностей тектонических нарушений, массивов интрузивных пород или других рудоконтролирующих элементов геологического строения (рис. 1.17).

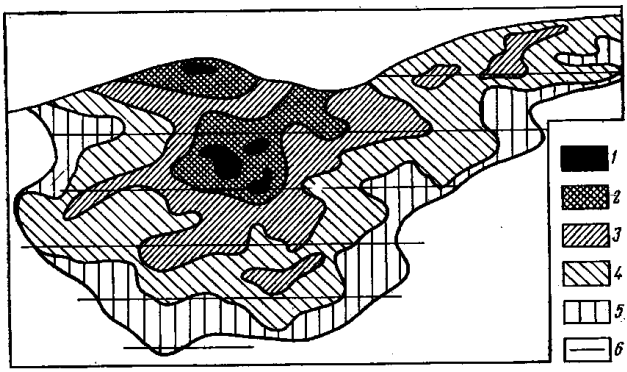


Рис. 1.17. Изолинии линейных запасов флюоритовой залежи (проекция на вертикальную плоскость).
Значения метропроцентов: 1 – более 1500; 2 – от 1000 до 1500; 3 – от 500 до 1000; 4 – от 100 до 500; 5 – от 10 до 100; 6 – горизонты горных работ

В качестве сводных документов используются блок-диаграммы, дающие наглядное пространственное представление о геологическом строении месторождения или его участка, или объемно-макетные модели. Объемно-макетные модели, выполненные из прозрачных материалов, имеют не только иллюстративное, но и познавательное значение, особенно если месторождение состоит из совокупностей многих, пространственно разобщенных залежей полезных ископаемых, условия локализации которых определяются влиянием общих рудоконтролирующих структур.

1.9. Кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых

Кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых устанавливаются для каждой стадии геологоразведочных работ. На стадии предварительной разведки месторождений разрабатываются временные кондиции, которые рассматриваются и одобряются ЦКЗ геологических управлений. К подсчету запасов детально разведанных месторождений кондиций рассматриваются и утверждаются ГКЗ РК. В процессе эксплуатации месторождения периодически возникает необходимость в пересмотре и уточнении кондиций в связи с выявлением новых факторов, влияющих на технологию добычи и переработки минерального сырья, изменением представлений об условиях залегания, строении и качества полезных ископаемых, изменением цен на продукцию горного предприятия или совершенствованием горной технологии. Пересмотренные кондиции также утверждаются в ГКЗ РК.

Кондиции не характеризуют оптимальных горно-геологических условий месторождения, т. к. не содержат характеристик среднего качества полезного ископаемого. Ими определяются только предельные значения важнейших горно-геологических параметров, при которых обеспечивается экономическая целесообразность разработки месторождения или его участка.

Обоснование кондиций – сложная работа, требующая учета взаимосвязей различных горно-геологических и технико-экономических параметров, для выявления оптимального варианта оконтуривания и оценки полезного ископаемого. Оптимальные кондиции должны обеспечивать максимальную полноту использования недр и одновременно высокую экономическую эффективность эксплуатации месторождения.

В геологическом обосновании кондиций содержатся данные, характеризующие изменения представлений о морфологии, строении и составе залежей полезных ископаемых в зависимости от принимаемых значений кондиционных показателей. Особое внимание обращается на соответствие кондиций природным

особенностям месторождения с точки зрения полноты и комплексности использования недр.

Технико-экономическое обоснование кондиций способствует выявлению такого варианта их показателей, при котором обеспечивается наиболее полное комплексное использование минерального сырья, минимальные потери полезного ископаемого, затраты на получение единицы продукции и капиталовложения в строительство горного предприятия.

1.9.1. Кондиции к качеству и технологическим свойствам минерального сырья

Перечень подлежащих учету основных и сопутствующих компонентов. При разработке кондиций должны учитываться все полезные компоненты, которые при современных технологических методах переработки минерального сырья могут быть извлечены в готовые продукты, а также хвосты обогащения и вскрышные породы, если возможность их практического использования подтверждается расчетами и установлены конкретные потребители этой продукции. Кондициями устанавливается перечень тех полезных компонентов, которые в совокупности образуют комплекс и при обосновании минимального промышленного содержания должны учитываться в единицах условного основного компонента, обосновываются и рассчитываются переводные коэффициенты. Кроме того, определяется перечень подлежащих оценке сопутствующих компонентов, и устанавливаются предельно допустимые среднеблочные содержания каждого из них. При этом увеличиваются особенности их размещения по различным технологическим типам и сортам минерального сырья, возможности их извлечения на различных стадиях переработки, а также их распределение по промпродуктам различных технологических стадий.

Максимальные содержания вредных примесей. Обычно они ограничиваются техническими условиями или требованиями ГОСТа. Если в процессе добычи или переработки минерального сырья все вредные примеси переходят в хвосты обогащения основного продукта или в шлаки, то кондициями они не ограничи-

ваются. Если же для снижения содержаний вредных компонентов необходимо применение специальных способов добычи или переработки минерального сырья, то кондициями устанавливается перечень вредных примесей и максимально допустимые их содержания в подсчетном блоке. Для многих видов минерального сырья, особенно для нерудных полезных ископаемых, вредные примеси и их предельные концентрации могут варьировать в широких пределах. Они зависят от состава, физического состояния и количественных соотношений полезных и вредных компонентов. Максимально допустимые содержания вредных примесей устанавливаются для каждого типа и сорта минерального сырья по результатам его технологических испытаний, а расходы связанные с удалением вредных примесей, учитываются в общих затратах при расчете минимального промышленного содержания основного компонента.

Технологические типы и сорта минерального сырья. При наличии в недрах нескольких технологических типов и сортов минерального сырья каждый из них учитывается и подсчитывается раздельно. Если участки, сложенные полезными ископаемыми различных типов и сортов, могут быть оконтурены и добыты самостоятельно, расчет минимального промышленного содержания и других кондиционных показателей производится раздельно для каждого из них. Если же учет технологических типов и сортов производится статистически в общем контуре промышленной минерализации, кондиции рассчитываются исходя из их соотношений с учетом цен на каждый тип и сорт полезного ископаемого и показателей извлечения полезных компонентов в готовый продукт.

В кондициях указываются технологические типы и сорта полезного ископаемого, подлежащие самостоятельному оконтуриванию или статистическому учету, и проводится комплекс показателей для их оценки и выделения.

Специальные требования к качеству минерального сырья в недрах. В зависимости от использования полезных ископаемых, промышленность предъявляет ряд специальных требований к качеству минерального сырья. Для многих нерудных полезных ископаемых эти требования лимитируются государственными

стандартами или техническими условиями, иногда же определяются с учетом специфических свойств и особенностей оцениваемого вида минерального сырья. Так, например, бокситы, согласно ГОСТу 972–50, разделяются на 10 марок в зависимости от содержания окиси алюминия и кремнекислоты (марки БВ, Б-0 ... до Б-8). Качество строительных каменных материалов определяется их механической прочностью в сухом и водонасыщенном состоянии, кислото- и морозостойкостью, изнашиваемостью, вязкостью, пористостью, свободным водопоглощением и рядом других специфических свойств. Для штучного камня, кроме перечисленных свойств, определяющее значение имеют полируемость, цвет, окраска или рисунок, а для рваного камня – кусковатость и другие специфические качества.

1.9.2. Кондиции к оконтуриванию полезных ископаемых

Бортовое содержание полезного ископаемого для оконтуривания балансовых запасов. При отсутствии четких природных границ полезных ископаемых с вмещающими породами оконтуривание промышленно-ценных участков производится по некоторому заданному (бортовому) содержанию полезного компонента.

Бортовое содержание – это такое минимальное содержание полезного компонента в пробе, при котором данная проба еще может быть включена в продуктивный контур. От величины бортового содержания зависят представления о размерах и строении продуктивных залежей, а также средние содержания в них полезных компонентов. Чем ниже бортовое содержание, тем крупнее размеры залежей, проще их формы и ниже среднее содержание в них полезных компонентов.

Основным критерием для выбора величины бортового содержания является степень соответствия характера пространственного размещения полезных компонентов в минерализованном объеме недр тем горнотехническим условиям, которые обеспечивают максимальную эффективность разработки месторождения. Оптимальное значение бортового содержания может колебаться от минимального промышленного до содержания

полезного компонента в отходах производства. В отличие от минимального промышленного содержания обосновать оптимальное значение бортового содержания путем прямых горно-экономических расчетов невозможно.

В практике геологоразведочных работ оптимальное значение бортового содержания определяется методом вариантов путем последовательного оконтуривания балансовых запасов при различных значениях бортового содержания.

Вначале значение бортового содержания принимается равным минимальному промышленному. Если при этом оконтуриваются компактные, простые по форме и крупные по размерам залежи полезного ископаемого, а большинство проб с кондиционным содержанием полезных компонентов не выходит за их контуры, то вариант считается оптимальным. Оконтуривание по борту, равному минимальному промышленному содержанию целесообразно при разведке залежей полезных ископаемых, обладающих постепенными расплывчатыми переходами во вмещающие породы (рис. 1.18). Применение более низкого бортового содержания в данном случае нерационально, т. к. привело бы к неоправданному разубоживанию полезного ископаемого за счет периферических зон с содержаниями полезных компонентов заведомо ниже установленного промышленного минимума.

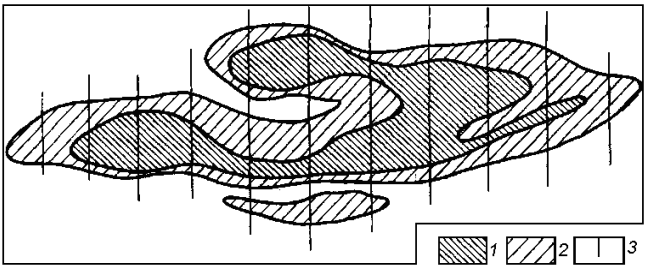


Рис. 1.18. Оконтуривание залежи, обладающей плавными постепенными переходами во вмещающие породы:
1 – форма залежи при оконтуривании ее по бортовому содержанию, равному минимальному промышленному; 2 – то же, по бортовому содержанию ниже минимального промышленного; 3 – разведочные пересечения

Если при бортовом содержании, равном минимальному промышленному, оконтуриваются многочисленные мелкие и изолированные скопления полезного ископаемого, целесообразно снижение бортового содержания до такого предела, при котором подавляющая часть скоплений объединится единым контуром. Упрощение форм залежей и укрупнение их размеров существенно улучшает горнотехнические условия разработки месторождения, а неизбежное разубоживание полезного ископаемого компенсируется увеличением его запасов за счет вовлечения в промышленный контур не только участков с низкими содержаниями полезных компонентов, но и многочисленных богатых скоплений (рис. 1.19).

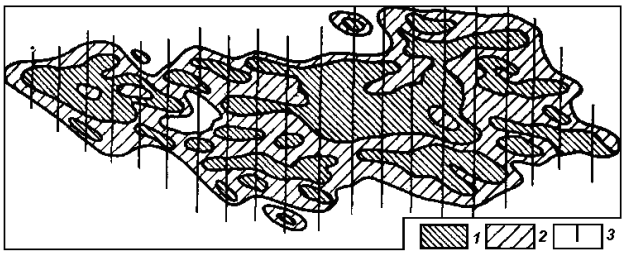


Рис. 1.19. Оконтуривание залежи сложного, вкрапленно-прожилкового строения с неравномерными переходами во вмещающие породы:
1 – форма залежи при оконтуривании ее по бортовому содержанию, равному минимальному промышленному; 2 – то же, по бортовому содержанию ниже минимального промышленного; 3 – разведочные пересечения

Окончательный выбор бортового содержания корректируется путем технико-экономического анализа вариантов. Для этого по каждому из них определяются условия применения тех или иных систем разработки, оцениваются возможные масштабы горного предприятия, объемы годовой продукции, ее себестоимость, общие и удельные капиталовложения, ожидаемые рентабельность предприятия и окупаемость капиталовложений. В качестве оптимального значения бортового содержания принимается такое, при котором обеспечивается максимальная пол-

нота использования недр и высокая экономическая эффективность эксплуатационных работ.

При оконтуривании залежей комплексных полезных ископаемых значения бортового содержания выражаются в условных единицах основного компонента. Перевод содержаний остальных компонентов в содержания условного компонента производится с помощью переводных коэффициентов так же, как это делается при расчете минимального промышленного содержания.

Бортовое содержание полезного компонента для оконтуривания забалансовых запасов. Для оконтуривания забалансовых запасов обычно устанавливается наиболее низкое из возможных значений бортового содержания, при котором еще практически возможно извлечение полезных компонентов из добытого минерального сырья. В качестве нижних пределов бортовых содержаний часто принимаются средние содержания полезных компонентов в отходах производства – отвалах горных выработок, в хвостах обогащения, в кеках гидрометаллургического или в шлаках пирометаллургического переделов.

Предельно допустимая мощность участков пустых пород, включаемых в промышленный контур. В соответствии с действующей классификацией запасов участки пустых пород (и участки, некондиционные по содержанию полезных компонентов) не должны включаться в подсчетные контуры, т. к. свойства полезного ископаемого определяются по состоянию в недрах, независимо от возможного его разубоживания при добыче. Однако если залежи полезных ископаемых обладают сложным прерывистым строением, это требование не удаетсявыполнитьполностью, т. к. участки пустых пород не поддаются уверенной геометризации, а их мощности и размеры настолько малы, что практически исключается возможность их селективной отработки. При оконтуривании балансовых запасов в недрах условно считается, что небольшие участки пустых пород не нарушают представлений о сплошности строения залежей полезного ископаемого, а их разубоживающее влияние учитывается при выводе среднего содержания полезного компонента. Таким образом, рассматриваемый показатель кондиций определяет масштаб ис-

следований. Он зависит с одной стороны от природы месторождения, а с другой – от проектируемой технологии его разработки.

В числе природных свойств основное влияние на величину предельно допустимого размера пустых участков оказывают условия залегания и характер строения полезных ископаемых. Для выдержанных крутопадающих пластовых месторождений максимальные мощности пустых прослоев обычно измеряются долями метра, а для залежей с невыдержанным прерывистым внутренним строением (когда участки пустых пород чередуются с участками полезного ископаемого без видимой пространственной закономерности) их размеры увеличиваются до нескольких метров. Выбору оптимального значения рассматриваемого кондиционного показателя способствуют эмпирические гистограммы размеров пустых участков в пределах минерализованного блока горных пород, позволяющие оценить модальное значение этого показателя.

Влияние проектируемой горной технологии сказывается в том, что чем шире масштаб производства, выше производительность добычных работ и больше размеры очистных забоев, тем более крупные участки пустых пород целесообразно включать в контуры отрабатываемых залежей. При подземной отработке многих видов полезных ископаемых максимальные размеры участков пустых пород изменяются от долей метра до 2–3 м, а при открытой отработке от 3–5 до 10 м.

Увеличение предельно допустимой мощности пустых прослоев и участков, некондиционных по содержанию полезных компонентов способствует повышению производительности горных работ и снижает себестоимость его добычи, однако одновременно снижаются средние содержания полезных компонентов, показатели их обогащения и извлечения в готовый продукт и повышается себестоимость переработки минерального сырья. Для того чтобы оценить влияние рассматриваемого кондиционного показателя, приходится оконтуривать и оценивать балансовые запасы полезного ископаемого не только по вариантам бортового содержания, но и по вариантам предельно допустимой мощности участков пустых пород. В табл. 1.5 показано, как запасы и качество одного из месторождений танталовых

руд, разрабатываемых открытым способом, изменяются в зависимости от принятого максимального размера пустого участка.

Таблица 1.5

Зависимость запасов руд и содержаний тантала от мощности пустых прослоев

Варианты	Максимальный размер участков пустых пород и некондиционных руд, включаемых в промышленный контур, м	Запасы, %	Содержания, %
1	1	60	0.015
2	2	68	0,014
3	3	70	0,014
4	4	90	0,013
5	5	95	0,011
6	6	100	0,010

При проектировании карьера был принят четвертый вариант, поскольку селективная выемка безрудных участков размером менее 4 м экономически не целесообразна, а разработка месторождения оправдана при среднем содержании пятиокиси тантала в руде не менее 0,012 %.

Если сложно построенные минеральные зоны состоят из групп сближенных рудных обособлений с неясно очерченными или резкими контактами, разделенными участками практически пустых пород, предельная мощность пустых прослоев приобретает значение ведущего кондиционного показателя для оконтуривания запасов. При таком строении полезного ископаемого использование бортового содержания не обеспечивает приемлемых вариантов оконтуривания (рис. 1.20, *а*).

Выделение компактных залежей с прерывистым строением и высокой концентрацией полезного компонента из массы мелких разобщенных скоплений полезного ископаемого возможно только с помощью кондиционного показателя, определяющего предельно допустимую мощность пустых прослоев или участков, некондиционных по содержанию полезных компонентов, включаемых в общий промышленный контур (рис. 1.20, *б*).

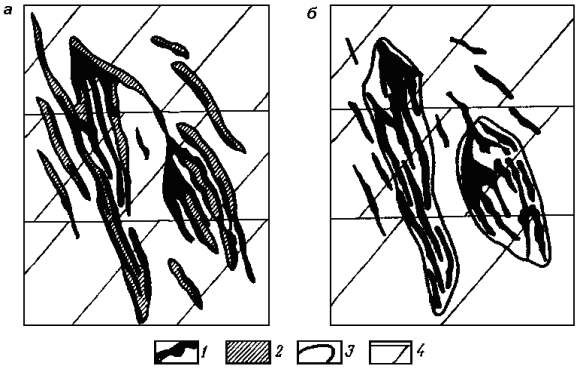


Рис. 1.20. Оконтуривание штокверкоподобной залежи по бортовому содержанию (*а*) и по предельной мощности участков пустых пород (*б*): *1 – форма залежи при оконтуривании по бортовому содержанию, равному минимальному промышленному; 2 – то же, по бортовому содержанию ниже минимального промышленного: 3 – то же, по максимальному прослою пустых пород; 4 – разведочные пересечения*

1.10. Разведка месторождений на разных стадиях изучения недр, различных типов и видов полезных ископаемых

Предпроектные стадии геолого-разведочных работ

На каждой стадии содержание разведки, ее методические приемы, способы и методы оценки запасов полезных ископаемых отличаются специфическими особенностями, которые зависят от целей, задач и условий проведения геолого-разведочных работ. Между отдельными стадиями в условиях новой системы планирования и материального стимулирования геолого-разведочных работ особенно важно проводить четкие границы между ними и строго выдерживать последовательность проведения отдельных стадий. При изучении многочисленных объектов сомнительной промышленной ценности это сокращает до минимума непроизводительные расходы на их разведку и оценку. Только в тех случаях, когда промышленная ценность месторождения очевидна уже на ранних стадиях разведочных работ возможно отступление от этого принципа.

1.10.1. Предварительная разведка

Цели, задачи и объекты исследования. Предварительной разведке подвергаются все вновь выявленные рудопроявления (месторождения) полезных ископаемых, получившие положительную геолого-экономическую оценку по результатам поисково-оценочных работ [2].

Целью предварительной разведки является выяснение общих масштабов промышленной минерализации и среднего качества минерального сырья, общая оценка его технологических свойств и горно-геологических условий эксплуатации месторождения для решения вопроса о целесообразности и очередности промышленного освоения месторождения.

На стадии предварительной разведки вероятно получение как положительной, так и отрицательной геолого-экономической оценок месторождения. Из числа положительно оцененных месторождений далеко не все сразу же осваиваются горной промышленностью. Необходимость получения однозначной геолого-экономической оценки месторождений с минимальными затратами средств превращает предварительную разведку в исключительно ответственную стадию разведочных работ.

Объектами исследования в стадию предварительной разведки являются месторождения полезных ископаемых в целом. Они могут быть представлены одной продуктивной зоной (толщей) или совокупностью нескольких сближенных продуктивных зон, которые на данной стадии рассматриваются в качестве условно однородных объемов недр. При получении положительных результатов в конце предварительной разведки на типичных (эталонных) участках продуктивных зон проводится выборочное сгущение разведочных выработок для выявления горно-геологических условий будущей эксплуатации месторождений. Они обеспечивают получение сходной информации об изменчивости геолого-разведочных параметров в масштабах отдельных продуктивных залежей, что необходимо для суждения о рациональной геометрии разведочной сети при проектировании детальных разведочных работ.

Главными задачами предварительной разведки являются:

– изучение общих геолого-структурных особенностей месторождения, основных закономерностей пространственного размещения полезной минерализации, состава вмещающих пород и важнейших рудовмещающих структур;

– выявление общих контуров месторождения, среднего качества полезного ископаемого, условий залегания, морфологии, строения и характеристик изменчивости геологоразведочных параметров продуктивных зон по их мощности, простиранию и падению;

– выборочная оценка условий залегания, морфологии, строения и характеристик изменчивости геологоразведочных параметров типичных продуктивных залежей в пределах эталонных участков;

– выявление технологических типов полезного ископаемого, их примерных количественных соотношений и главных особенностей технологической переработки;

– оценка общих горно-геологических условий эксплуатации на различных горизонтах и флангах месторождения с их детализацией в пределах эталонных участков;

– сбор исходных данных для расчета ориентировочных технико-экономических показателей возможной эксплуатации месторождения и обоснования временных кондиций при составлении ТЭДа;

– подсчет запасов категории C_2 по всему месторождению и запасов категории C_1 в пределах участков детализации геологоразведочных работ.

Технические средства геологоразведочных работ. В стадию предварительной разведки на объекте проводится широкий и разнообразный комплекс геолого-разведочных работ. Основными техническими средствами предварительной разведки являются: поверхностные горные выработки (канавы, траншеи, шурфы) и буровые скважины, преимущественно колонкового бурения. Подземные горные выработки проходятся по возможности в ограниченных объемах. С усложнением геологического строения месторождений роль подземных горных выработок

как основного технического средства предварительной разведки возрастает.

Необходимость оценки промышленной значимости месторождения в короткие сроки и с наименьшими затратами способствует широкому применению методов подземной геофизики, как основного технического средства предварительной разведки. Применение методов радиоволнового просвечивания, вызванной поляризации, подземных гравиметрических, термических, магнитометрических и пьезоэлектрических в скважинных вариантах обеспечивает выявление рудных тел в участках между разведочными пересечениями и разрезами, способствуя сокращению количества разведочных пересечений.

При выборе технических средств учитывают характер связи полезных ископаемых с элементами геологической структуры, морфологические особенности и строение скоплений полезных ископаемых, реже – особенности географо-экономического положения месторождения. Используя подземные горные выработки как одно из технических средств, следует иметь в виду, что на стадии предварительной разведки, когда данные о конкретном пространственном размещении залежей полезного ископаемого в недрах еще отсутствуют, возможность рационального расположения разведочных горных выработок с учетом будущих горно-эксплуатационных требований практически исключается.

Для предварительной разведки штокверкообразных, пласто- и жилообразных месторождений предложена методика статистического расчета количества разведочных пересечений и плотности разведочной сети в зависимости от предполагаемой площади объекта разведочных работ и общего коэффициента вариации важнейших геологоразведочных параметров по формуле:

$$S_0 = \frac{P_Q^2 S}{t^2 \sum V^2},$$

где S_0 – площадь ячейки разведочной сети;

P_Q^2 – относительная средняя квадратичная ошибка оценки величины запасов;

S – площадь рудного объекта;

t – коэффициент вероятности;

ΣV – общий коэффициент вариации важнейших геологоразведочных параметров,

$$\sum V = V_0 = \sqrt{V^2_{\text{мощн}} + V^2_{\text{сад}} + V^2_{\text{полщ}} + V^2_{\text{об.массы}}} .$$

Расстояние ℓ между смежными пересечениями (при квадратной сети) вычисляется по формуле

$$\ell = \frac{P_Q \sqrt{S}}{tV_0},$$

а число разведочных пересечений *n* равно

$$n = \frac{S}{S_0}.$$

Значения предполагаемой площади и общих коэффициентов вариации принимаются по аналогии с хорошо изученными месторождениями. Площади разведанных объектов одного морфологического типа могут изменяться в весьма широких диапазонах (в десятки раз), в то время, как их общие коэффициенты вариации редко расходятся более чем в полтора-два раза (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Обобщенные характеристики некоторых разведочных месторождений (по данным В. А. Петрова)

Месторождения	Число объектов	Средние характеристики	
		Площадь в условных единицах	Общий коэффициент вариации
Бокситовые	7	2– 68	73– 99
Сульфидно-никелевые	5	15– 66	81– 97
Силикатно-никелевые	4	3– 17	91–108
Медистые песчаники	2	90– 43	128–146
Жильные оловянные	11	0,2– 45	142–198
Жильные вольфрамовые	27	0,2– 10	124– 282
Жильные флюоритовые	5	0,6– 2,5	83–128

Во избежание излишних затрат В.А. Петров предлагает ориентироваться на более крупные размеры месторождений и на модальные значения общих коэффициентов вариации, т. к. недостаток разведочных пересечений может быть в дальнейшем исправлен сгущением разведочной сети. Для использования предложенных формул необходимо задаться относительной погрешностью P_Q и коэффициентом вероятности t.

После выявления общих контуров и положительной оценки месторождения в задачу предварительной разведки входит проведение детализационных работ на типичных (эталонных) участках месторождения для выявления особенностей его строения в масштабе продуктивных залежей. Создание хотя бы двух взаимно ортогональных разведочных разрезов с предельно густой сетью разведочных пересечений, сопоставимой с мощностями продуктивных залежей обеспечивает получение геолого-структурных данных для суждения о примерной геометрии сети при проектировании детальных геологоразведочных работ.

Документация и опробование разведочных выработок и скважин. К качеству и полноте геологической, геофизической и минералого-геохимической документации скважин и разведочных выработок предъявляются повышенные требования, т. к. только предельная полнота и высокая достоверность исходных данных могут компенсировать ограниченность числа разведочных пересечений и малую плотность разведочной сети.

Объективные трудности геологической документации на стадии предварительной разведки обусловлены слабым знанием геологии разведываемого месторождения, отсутствием разработанной легенды, эталонных коллекций и гипотетичностью представлений о генетическом и структурном типах месторождения, особенно в начале разведочных работ. Все эти вопросы приходится решать одно временно с проведением геологических наблюдений по разведочным выработкам и скважинам. Нередко в процессе предварительной разведки сложившиеся ранее представления коренным образом меняются и требуют полного пересмотра, в связи с чем, возникает необходимость изменения

легенды, повторной документации пройденных пересечений и пересоставления сводных документов.

При опробовании горных выработок и скважин рекомендуется применять оправдавшие себя на практике наиболее совершенные способы пробоотбора, увеличивать количество частных проб, сокращать интервалы опробования до долей метра или отбирать секционные пробы малой длины для повышения детальности изучения внутреннего строения полезных ископаемых в направлении максимальной изменчивости их свойств. Бороздовые пробы рекомендуется отбирать по обеим стенкам горных выработок для получения объективных данных о пространственной изменчивости содержаний полезных компонентов, при шаге опробования порядка 2 м.

В разведочных горных выработках рекомендуется отбирать партии контрольных проб валовым способом, а данные опробования скважин проконтролировать хотя бы несколькими горными выработками или скважинами ударно-канатного бурения.

Ядерно-физические и другие прогрессивные методы опробования разведочных скважин и горных выработок должны применяться на стадии предварительной разведки с самого начала работ, дублируя механические методы пробоотбора, для накопления сравнительного материала о возможности и условиях применения их в процессе последующих детальных и эксплуатационных разведочных работ.

Технологические свойства полезных ископаемых определяются на стадии предварительной разведки с детальностью, позволяющей судить о возможности промышленного использования добываемого минерального сырья, принципиальной схеме его технологической переработки и о более вероятной ее экономической эффективности.

В случаях особо сложного минерального состава полезного ископаемого и при разведке месторождений новых, еще не освоенных промышленностью технологических типов минерального сырья может потребоваться проведение технологических испытаний на укрупненных полупромышленных пробах.

В разведочных скважинах и горных выработках проводятся структурно-геологические, гидрогеологические и инженерно-

геологические наблюдения с отбором образцов полезного ископаемого и вмещающих пород для определения их физико-технических свойств – крепости, буримости, трещиноватости, кусковатости, коэффициентов разрыхления и др. По результатам гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений в стадию предварительной разведки производится приближенный расчет возможных водопритоков в эксплуатационные горные выработки и предварительная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождения. На месторождениях крупного масштаба с хорошим качеством полезных ископаемых, но со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями в стадию предварительной разведки проводится комплекс специализированных гидрогеологических и инженерно-геологических работ.

Детальность изучения технологических свойств минерального сырья, горно-геологических и инженерно-геологических условий эксплуатации в стадию предварительной разведки месторождения должна соответствовать требованиям категории C_1 [1].

Обобщение первичных материалов и создание геологических моделей. Составление геологических карт, разрезов и проекций, отражающих результаты предварительных разведочных работ проводятся на топографо-геодезической основе с инструментальной привязкой всех изученных естественных и искусственных обнажений. При обобщении данных геологических съемок результатов документации и опробования эталонных участков используются методы горно-геометрического и геолого-математического моделирования.

Методика подсчета запасов. Подсчет запасов производится на основании временных кондиций, которые составляются в период завершения предварительной разведки с учетом опыта эксплуатации месторождений аналогичного геолого-промышленного типа.

При расчетах кондиций возможные масштабы горнорудного предприятия определяются по сумме запасов категорий C_2 и C_1, часто с учетом геологически обоснованных прогнозных запасов глубоких горизонтов и флангов разведуемого месторождения. Для определения минимального промышленного содер-

жания полезного компонента и минимального запаса полезного ископаемого Н.А. Хрущевым предложено использовать «браковочные кондиции», устанавливаемые для каждого вида минерального сырья. Браковочные кондиции должны определяться не по оптовым, а по расчетным ценам с учетом приведенных затрат, определяющих нормативную эффективность капиталовложений в данную отрасль горно-добывающей промышленности. В зависимости от состояния и перспектив развития сырьевой базы расчетные цены для остро дефицитных видов минерального сырья могут приниматься выше, а для недефицитных ниже среднеотраслевых оптовых цен. Использование браковочных кондиций способствует снижению расходов на предварительную разведку месторождений и повышению народно-хозяйственной эффективности затрат на геологоразведочные работы.

Редкая сеть и ограниченное количество разведочных пересечений создает объективные трудности при оконтуривании промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых. Основными объектами предварительных разведочных работ являются продуктивные зоны, а не слагающие их продуктивные залежи, выявление и оконтуривание которых на этой стадии возможно только выборочно на участках детализационных работ.

Запасы, подсчитанные по данным предварительной разведки, квалифицируются по категории C_2. При разведке сложно построенных месторождений кондиции к оконтуриванию запасов используются только для выделения рудных интервалов по разведочным пересечениям, а обобщающие контуры продуктивных зон проводится по совокупности литолого-фациальных, структурных, минералого-геохимических и других геологических критериев. Реже устанавливаются кондиции к оконтуриванию самих продуктивных зон по заданному содержанию ценного элемента в геохимическом ореоле или по предельно допустимому размеру пустого прослоя, учитываемого коэффициентом рудоносности.

Приповерхностные и эталонные участки продуктивных зон разведанные значительно более густой сетью горных выработок и скважин, оконтуриваются как самостоятельные подсчетные

блоки, запасы которых могут квалифицироваться по более высокой категории (обычно по категории C_1).

Оптимальные соотношения запасов категорий C_2 и C_1 действующими методическими положениями не устанавливаются. Исходя из целей и задач предварительной разведки основная часть запасов должна разведываться до категории C_2.

Геологические отчеты по результатам предварительной разведки рассматриваются и утверждаются в ТКЗ. Предварительно разведанные запасы уникальных месторождений и месторождений, оказывающих заметное влияние на состояние минерально-сырьевой базы страны по данному виду минерального сырья, могут рассматриваться в ГКЗ РК.

Оценка экономической эффективности промышленного использования месторождения. По совокупности материалов предварительной разведки составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором обусловливаются экономическая целесообразность и сроки промышленного освоения месторождения. В технико-экономических докладах высказываются предварительные соображения о возможных способах вскрытия и системах разработки месторождений, масштабах добычи, технологических схемах переработки минерального сырья и качества товарной продукции. С использованием конкретных данных предварительной разведки по аналогии с действующими предприятиями рассчитываются показатели, характеризующие природную ценность месторождения, эффективность его эксплуатации и эффективность капиталовложений.

Природная ценность месторождения характеризуется предварительно оцененными запасами полезного ископаемого и содержаниями полезных компонентов. Из показателей эффективности эксплуатации месторождения рассчитываются: ожидаемая годовая производительность рудника, выпуск товарной продукции в натуральном и денежном выражениях, себестоимость продукции, рентабельность эксплуатации и уровень рентабельности в процентах к производственным фондам. Для оценки эффективности капиталовложений определяются: капитальные затраты на строительство горных предприятий, удельные капитальные затраты, срок окупаемости капитальных вложений и

уровень рентабельности на вложенные средства. Все перечисленные оценочные показатели рассчитываются по отношению к суммарным запасам месторождения без их детализации по отдельным залежам, горизонтам, блокам и участкам [13].

1.10.2. Детальная разведка

Цели, задачи и объекты исследования. Детальная разведка проводится лишь на тех месторождениях, которые получили положительную геолого-экономическую оценку по результатам предварительных разведочных работ и заслуживают, по заключению ТЭДа, первоочередного промышленного освоения.

Целью детальной разведки является уточнение сведений о запасах, качестве полезного ископаемого, технологических свойствах минерального сырья и горно-геологических условий эксплуатации месторождения по его отдельным участкам, залежам и блокам для проектирования горного предприятия. По результатам детальной разведки производится генеральный подсчет запасов, расчет вариантов технико-экономических показателей промышленного освоения месторождения и его полная геолого-экономическая оценка.

Границы детальной разведки определяются на небольших и средних месторождениях их контурами, установленными в процессе предварительных разведочных работ. На крупных месторождениях детально разведываются только участки первоочередного освоения с разведанными запасами, обеспечивающими работу горнодобывающего предприятия на 8–10 лет.

Основная цель детальной разведки сводится не столько к уточнению общих цифр запасов и средних значений важнейших геолого-разведочных параметров по месторождению в целом, сколько к детализации сведений, характеризующих пространственное размещение, условия залегания, морфологию и строение отдельных продуктивных залежей, их участков и блоков, оценке содержащихся в них запасов и качества полезного ископаемого.

Основными объектами исследования в стадию детальной разведки являются продуктивные залежи, т. е. такие скопления полезных ископаемых, которые представляют собой объекты

самостоятельной горной подготовки. Они могут быть представлены практически сплошными скоплениями полезного ископаемого или совокупностью сближенных, но пространственно изолированных скоплений. В завершающие периоды детальной разведки на типичных (эталонных) участках продуктивных залежей должны проводиться детализационные работы, обеспечивающие сбор исходной информации для проектирования горнодобычных работ в масштабах отдельных эксплуатационных участков и очистных блоков. Информация, полученная в результате детализационных работ, используется для обоснования наиболее эффективных систем разработки полезного ископаемого, расчетов вероятных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче.

Главными задачами детальной разведки являются:

– изучение геолого-структурных особенностей, закономерностей пространственного размещения и условий рудоконтроля продуктивных залежей, их минерального и литолого-петрографического состава вмещающих пород;

– выявление контуров, условий залегания, морфологии и строения каждой продуктивной залежи, характеристик изменчивости геолого-разведочных параметров и качество полезного ископаемого по их мощности, простиранию и падению;

– выборочная оценка строения и характеристик изменчивости геологоразведочных параметров полезного ископаемого в пределах эксплуатационных участков и блоков;

– детальное изучение вещественного состава полезного ископаемого и его технологических свойств, раздельно по каждому технологическому типу минерального сырья с проведением технологических испытаний в полупромышленном, а если необходимо, то и в промышленном масштабах;

– детальное изучение горно-геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий эксплуатации месторождения по отдельным продуктивным залежам и их участкам с предельной детализацией данных на эталонных участках;

– выявление и разведка источников питьевого и технического водоснабжения, местных строительных материалов, строительных площадок и др.;

– разработка кондиций, подсчет запасов категорий А, В и C_1 по отдельным залежам и участкам детализационных работ и запасов категории C_2 на флангах и глубоких горизонтах месторождения.

Технические средства и общая последовательность геолого-разведочных работ. В отличие от стадии предварительной разведки решающее значение на выбор технических средств детальных разведочных работ оказывают не только геологические, но и некоторые горно-технологические факторы. Месторождения, намечаемые к отработке открытым способом или путем подземного выщелачивания, разведаются преимущественно буровыми скважинами, а месторождения, предназначенные к отработке подземным способом, – в большей степени горными выработками. Возможность использования разведочных горных выработок при последующей эксплуатации месторождения зависит от сложности его геологического строения и масштабов промышленной минерализации. Если месторождение залегает в простых геологических условиях, при проектировании и проходке вскрывающих и подходных горноразведочных выработок могут быть учтены не только разведочные, но и будущие эксплуатационные требования. В месторождениях со сложным геологическим строением проведение горных выработок с учетом их использования при будущей эксплуатации нецелесообразно, так как из-за недостатка данных о пространственном размещении запасов полезного ископаемого в недрах оптимальное расположение эксплуатационных горных выработок становится невозможным. Однако при детальной разведке мелких месторождений, независимо от их сложности, следует стремиться к тому, чтобы вскрывающие горные выработки могли быть в дальнейшем использованы для отработки разведанных запасов, поскольку в условиях мелкого горного предприятия проходка новых горно-капитальных выработок, как правило, экономически нерациональна.

Геометрия разведочной сети устанавливается в начале детальной разведки по данным изучения эталонных участков в процессе предварительных разведочных работ.

В условиях слаборасчлененного рельефа и пологих падений продуктивных залежей развитие разведочной сети производится сначала в приповерхностных участках, преимущественно в горизонтальных направлениях с максимальным охватом флангов месторождения и только после детального изучения его поверхностных горизонтов начинается развитие разведочной сети на глубину. В условиях расчлененного рельефа детальную разведку начинают обычно с наиболее глубоких горизонтов, доступных для штольневого вскрытия, что способствует быстрой и объективной оценке центральных, часто наиболее продуктивных участков месторождений.

Месторождения или их участки, намеченные под детальную разведку, изучаются сначала по разведочной сети, обеспечивающей оценку и подсчет запасов полезного ископаемого во всем объеме по категории C_1 после чего производятся детализационные разведочные работы на эталонных участках. Эталонные участки должны быть типичными по отношению к основной массе запасов как с точки зрения геологического строения месторождения и вещественного состава полезного ископаемого, так и по геологоразведочным параметрам продуктивных залежей. На месторождениях первой и второй групп по классификации ГКЗ РК разведанность запасов на эталонных участках доводится до категорий А, В, а на месторождениях третьей группы сеть разведочных выработок сгущается до пределов, обеспечивающих выяснение всех горно-геологических условий и выбор наиболее эффективных систем отработки месторождения. Практически это означает, что густота разведочной сети должна обеспечивать выявление структуры полезного ископаемого в масштабе эксплуатационного блока.

При проведении детальных разведочных работ экономически нецелесообразно предельное сгущение разведочной сети на участках, сложенных мелкими рудными скоплениями с весьма изменчивыми контурами и местными осложнениями рудовмещающих структур. Эти участки не определяют основных запасов месторождения и поэтому их более детальное изучение рациональнее оставить на период эксплуатационных работ.

В отличие от предварительной стадии развитие разведочной сети не обязательно должно производиться строго последователь но. Можно одновременно проходить большое количество горных выработок и разведочных скважин.

На стадии детальной разведки уточняются сведения о генетическом типе месторождения и геологических закономерностях, определяющих комплекс поисково-оценочных критериев и признаков. Поэтому, кроме оценки запасов по категориям А, В, и C_1 в задачу детальной разведки входит и расширение перспектив месторождения на флангах и глубоких горизонтах путем выявления запасов категории C_2.

Геолого-геофизическая документация и опробование. На стадии детальной разведки резко возрастают объемы работ по геологической документации и опробованию горных выработок и скважин. Поэтому с самого начала детальной разведки исключительно важное значение приобретают правильная организация и контроль работ по геологической документации и опробованию горно-разведочных выработок и скважин.

При опробовании разведочных горных выработок и скважин механические способы пробоотбора следует проводить одновременно с различными ядерно-физическими методами, накапливая сравнительные данные для оценки их достоверности.

После выяснения деталей строения полезных ископаемых в масштабах забоев горных выработок длины отдельных секций или интервалов проб могут быть увеличены до 1–2 м и более, с учетом предполагаемых кондиций к оконтуриванию запасов (рабочей мощности, предельного метропроцента и максимально допустимой мощности участков пустых пород). Для суждения о характере изменчивости содержаний при шаге опробования порядка 2–2,5 м целесообразно отбирать борозды по обеим стенкам горных выработок. Необходимо также своевременно выполнять все необходимые операции по контролю процессов пробоотбора, обработки и анализов проб.

При вскрытии ранее пробуренных разведочных скважин горноразведочными выработками их координаты должны быть обязательно установлены маркшейдерским способом, а участки пересечений полезных ископаемых скважинами должны быть

переопробованы. Сопоставления результатов инклинометрии, фактических координат скважин, результатов опробования керна и контрольных проб позволяют судить о фактических погрешностях инклино-метрических замеров и опробования керна скважин.

Для изучения технологических свойств полезного ископаемого проводится специальное технологическое картирование, и отбираются лабораторные, полупромышленные и промышленные технологические пробы.

Технологическое картирование участков проводится путем систематического отбора большого числа групповых проб, равномерно размещенных по всему изучаемому объему недр, с последующим их испытанием в малогабаритных технологических лабораториях. Массовая информация о пространственной изменчивости важнейших технологических показателей полезного ископаемого позволяет геометризировать эти свойства, и использовать данные технологического картирования для выбора мест отбора технологических проб. В начале детальной разведки отбираются пробы для лабораторных испытаний, а к концу разведки – для полупромышленных и промышленных испытаний. Выбор мест отбора технологических проб производится на основе детального анализа геологоразведочных данных с тем, чтобы обеспечить максимальную представительность каждой технологической пробы относительно запасов полезного ископаемого каждого типа или сорта.

Одновременно с проходкой разведочных выработок и скважин в процессе детальной разведки изучаются природные факторы, определяющие условия проведения горно-эксплуатационных работ, применительно к каждой продуктивной залежи, а выборочно — применительно к наиболее типичным эксплуатационным участкам и очистным блокам. При необходимости производятся специальные гидрогеологические и инженерно-геологические работы для расчета водопритоков в горные выработки, оценки инженерно-геологических условий эксплуатации по всем участкам месторождения, выявления и оценки источников питьевого и технического водоснабжения горного предприятия и жилого поселка, газового и термального

режима горных выработок. В течение всего срока детальной разведки проводятся систематически режимные наблюдения поверхностных и подземных вод, опытные откачки подземных вод в узлах гидрогеологических скважин, испытания инженерно-геологических и физико-механических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород.

Обобщение первичных материалов и создание геологических моделей. По результатам детальной разведки составляется сводный отчет с подсчетом запасов полезного ископаемого. Главное содержание отчета по результатам детальных разведочных работ составляют сводные графические документы:

– геологические карты рудного поля и месторождения в масштабах соответственно 1:25 0000 – 1:10 000 и 1:5000–1:1500 с разрезами к ним;

– геологические планы всех разведанных горизонтов, поперечные и продольные геологические разрезы в масштабах 1:2000-1:200;

– планы или разрезы опробования с контурами продуктивных залежей в масштабах 1:500–1:200;

– проекции продуктивных залежей не вертикальные или горизонтальные плоскости с блокировкой запасов полезного ископаемого;

– графические материалы, иллюстрирующие характер связей полезных ископаемых с элементами геологического строения или закономерности пространственного размещения различных свойств полезного ископаемого;

– блок-диаграммы и объемно-макетные модели месторождения или его участков.

Методика подсчета запасов. Подсчет запасов по результатам детальной разведки производится на основании кондиций, разработанных для данного месторождения с учетом результатов детальных разведочных работ. Кондиции к подсчету запасов рассчитываются в конце периода детальной разведки, когда основные геологические особенности и главные геолого-разведочные параметры продуктивных залежей выяснены уже с достаточной достоверностью и полнотой. Для определения масштаба месторождения и годовой производительности буду-

щего горного предприятия при расчете кондиций учитываются только разведанные запасы категорий А+В+$С_1$, а предварительно оцененные запасы категории $С_2$ принимаются во внимание только при оценке особо сложных месторождений. К началу подсчета запасов кондиции должны быть согласованы с заинтересованными промышленными организациями, рассмотрены и утверждены в ГКЗ РК.

Сравнительно густая сеть и количество разведочных пересечений, приходящиеся на каждый подсчетный блок, позволяют оконтуривать продуктивные залежи полезных ископаемых и выделять внутри них отдельные подсчетные блоки. При проведении контуров, разделяющих подсчетные блоки, учитываются требования к их технологической и геологической однородности, а также установленные кондициями предельные размеры подсчетных блоков.

Основная часть разведанных запасов подсчитывается по результатам детальных разведочных работ по категории $С_1$. Запасы более высоких категорий на месторождениях первой и второй групп подсчитываются в пределах детализационных участков, которые должны играть роль эталонных и характеризовать горно-геологические условия, типичные для основной части разведанных запасов. На месторождениях третьей группы запасы детализационных участков оцениваются не выше категории $С_1$ Использование коэффициента рудоносности при подсчете запасов продуктивных залежей допускается лишь для категории $С_1$ и как исключение, для категории В, при значении этого коэффициента не ниже 0,85–0,9.

Отчеты по результатам детальных разведочных работ с подсчетом разведанных запасов месторождения рассматриваются и утверждаются в ГКЗ РК. Без утверждения запасов в ГКЗ РК финансирование проектных работ и выделение капиталовложений на строительство горнорудных предприятий не производится.

Оценка экономической эффективности промышленного использования месторождения. Детальной разведкой обеспечивается полная оценка экономической эффективности использования месторождения в народном хозяйстве, как одного из поставщиков данного вида минерального сырья. По результатам

детальной разведки рассчитываются все исходные данные для составления проекта строительства горного предприятия, т. е. обеспечивается проектная геолого-экономическая оценка месторождения. Природная ценность месторождения характеризуется не только общими запасами и средними качественными оценками полезного ископаемого, но также разведанными запасами, средними содержаниями полезных компонентов, технологическими свойствами минерального сырья и горно-геологическими условиями эксплуатации месторождения по отдельным продуктивным залежам, участкам и подсчетным блокам.

Эффективность эксплуатации месторождения оценивается по годовой мощности горного предприятия, выпуску товарной продукции в натуральном и денежном выражениях, себестоимости продукции, рентабельности эксплуатации и уровню рентабельности в процентах к основным фондам не только для месторождении в целом, но и по отдельным его участкам, продуктивным залежам, горизонтам, блокам, различным технологическим типам и сортам полезного ископаемого. Себестоимость продукции, рентабельность и уровень рентабельности оцениваются суммарно и раздельно по добыче полезного ископаемого и по каждому последующему переделу. Для оценки эффективности капиталовложений в строительство горного предприятия определяются: капитальные затраты на строительство промышленного комплекса в целом и по отдельным цехам, удельные капитальные затраты, сроки окупаемости капитальных вложений и уровень рентабельности на вложенные средства в целом по всему промышленному комплексу и раздельно по добыче полезного ископаемого и последующим переделам.

1.10.3. Разведочные работы в условиях действующего горного предприятия

После передачи месторождения в промышленное освоение перед геологами горного предприятия возникает необходимость уточнения сведений о разведанных запасах, выявления дополнительных минерально-сырьевых ресурсов, улучшения и совершенствования технологии разработки месторождения и

переработки минерального сырья. Решение этих задач входит в обязанности рудничной геологической службы, которая организуется на горном предприятии с первых дней его существования и функционирует на протяжении всего срока эксплуатационных работ [4].

Перечисленные задачи рудничной геологической службы объединяются в три группы:

– уточнение сведений о разведанных запасах по мере их вскрытия, подготовки и отработки;

– выявление и оценка новых запасов полезного ископаемого в районе горного отвода для расширения минерально-сырьевой базы действующего предприятия и продления срока его существования;

– детализация сведений о геологическом строении месторождения и составе полезного ископаемого для контроля за качеством и полнотой отработки запасов и для оказания помощи горному предприятию по совершенствованию технологии разработки месторождения и переработки руд.

Для решения задач первой группы на месторождении проводится эксплуатационная разведка. Для выявления новых запасов в районе горного отвода проводятся специальные поисково-разведочные работы. Решение задач третьей группы входит в повседневные обязанности рудничной геологической службы.

Перечисленные виды работ проводятся одновременно, как правило, на различных участках месторождения. Все они тесно взаимосвязаны и в совокупности составляют содержание работ по геологическому обслуживанию действующего предприятия.

1.10.4. Эксплуатационная разведка

Целью эксплуатационной разведки является уточнение сведений о разведанных запасах для рационального планирования, проектирования и своевременного обеспечения фронта горно-капитальных, горно-подготовительных, нарезных и очистных работ. По целевому назначению эксплуатационная разведка разделяется на опережающую и сопровождающую добычу полезного ископаемого.

Опережающая эксплуатационная разведка проводится одновременно с горно-капитальными, горно-подготовительными и нарезными работами для уточнения сведений о запасах по вскрываемым и подготовляемым эксплуатационным участкам. Ее цель – определение запасов полезного ископаемого и полезных компонентов, среднего качества, состава и условий пространственного размещения полезного ископаемого в пределах каждого эксплуатационного участка и подготавливаемого блока. Данные опережающей эксплуатационной разведки используются для текущего (месячного, квартального, годового) производственного планирования деятельности горного предприятия.

Сопровождающая эксплуатационная разведка проводится одновременно с очистными работами для уточнения запасов полезного ископаемого и полезных компонентов, особенностей их пространственного размещения и среднего качества полезного ископаемого в пределах каждого отрабатываемого блока. В процессе сопровождающей разведки уточняются контуры промышленно-ценных скоплений полезного ископаемого, безрудных и некондиционных участков, детали пространственного размещения скоплений различных технологических сортов. Результаты сопровождающей эксплуатационной разведки используются для оперативного (сменного, суточного и декадного) производственного планирования горно-добычных работ.

В задачу обоих видов эксплуатационной разведки входит:

– систематическое изучение вещественного состава, текстурно-структурных особенностей и технологических свойств полезных ископаемых;

– уточнение их физико-механических свойств и свойств вмещающих пород, горнотехнических и инженерно-геологических условий разработки конкретных участков или блоков;

– выявление раннее неизвестных скоплений полезного ископаемого (апофиз, параллельных линз, гнезд и др.) в околорудных пространствах;

– оперативный подсчет запасов по отдельным эксплуатационным участкам и блокам, текущий учет их движения по мере доразведки, отработки и погашения отдельных блоков.

По сравнению со всеми предшествующими стадиями разведочных работ, эксплуатационная разведка отличается специфическими особенностями, которые определяются ее целевым назначением:

– эксплуатационная разведка производится на протяжении всего периода деятельности горного предприятия, опережая добычу и сопровождая очистные работы в эксплуатационных блоках;

– выбор систем эксплуатационной разведки и ее технических средств определяется способом вскрытия и принятой системой разработки, а густота разведочной сети зависит не только от геологических факторов, но и от технических условий системы отработки, размеров эксплуатационных блоков и требований в отношении селекции, потерь и разубоживания полезного ископаемого;

– в качестве разведочных пересечений широко используются пройденные горно-подготовительные, нарезные и очистные выработки, минные скважины и взрывные шпуры. Специальные разведочные пересечения (скважины, шпуры и значительно реже, горно-разведочные выработки) проходятся в минимально необходимых объемах, а их расположение зависит от расположения эксплуатационных горных выработок;

– результаты опробования используются не только для оконтуривания скоплений полезных ископаемых и оценки средних содержаний полезных компонентов, но и для контроля за полнотой и качеством отработки;

– возникает необходимость текущего (оперативного) учета движения запасов.

Основные факторы, определяющие выбор технических средств.

Выбор технических средств эксплуатационной разведки предопределяется способом вскрытия и принятой системой разработки месторождения.

Опережающая эксплуатационная разведка проводится колонковыми или ударно-канатными буровыми скважинами из карьеров, скважинами и шпурами из подземных горно-капитальных, горно-подготовительных и нарезных выработок.

Значительно реже в условиях эксплуатационной разведки проходятся специальные разведочные горные выработки.

Основными техническими средствами эксплуатационной разведки, сопровождающей подземную разработку месторождений, служат минные скважины, взрывные шпуры, а при возможности доступа в очистные пространства и сами очистные выработки.

Определение и планирование объемов эксплуатационных геолого-разведочных работ производится в отличие от предыдущих стадий не по всему объекту, а по отдельным его участкам и увязывается с перспективными, основными и текущими производственными планами горнодобывающего предприятия. Проекты эксплуатационной разведки составляются обычно на один год, в соответствии с производственным планом развития горно-капитальных, горно-подготовительных, нарезных и очистных работ.

При оперативной оценке состояния минерально-сырьевой базы действующего предприятия кроме степени разведанности запасов в недрах учитывается также степень их подготовленности к отработке. С этой целью запасы разделяются на четыре группы:

– вскрытые запасы, расположенные выше горизонтов горно-капитальных выработок (капитальных штолен, квершлагов, штреков и т. д.), а при открытой отработке – в уступах карьера с обнаженной верхней площадкой, выше отметки выездной траншеи;

– подготовленные запасы, расположенные в блоках или участках, в которых пройдены все горно-подготовительные выработки, разделяющие этаж на эксплуатационные блоки или участки, а при открытой отработке – в уступах карьера с обнаженными верхними и боковыми площадками, в которых пройдены резервные траншеи и осушительные выработки;

– запасы, готовые к выемке, заключенные в эксплуатационных блоках, в которых пройдены все нарезные выработки;

– запасы в охранных целиках, подлежащие самостоятельному учету и подсчету.

Оптимальные соотношения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов неодинаковы для месторождений раз-

личных по сложности геологического строения. Они зависят от вида минерального сырья, производительности и темпов горнодобычных работ.

Последовательность развития и густота разведочной сети эксплуатационной разведки определяется способами вскрытия, системами разработки и сложностью геологического строения месторождений.

При открытой разработке месторождений главная роль принадлежит сопровождающей эксплуатационной разведке, а опережающая разведка имеет подчиненное значение, особенно если внешние контуры запасов, определяющие положение бортов карьера, выявлены с достаточной детальностью. Скважины опережающей разведки бурятся, как правило, по редкой сети. При проведении очистных работ сеть наблюдений сгущается до предельной плотности. При этом используются все буровзрывные скважины.

Геологическая документация горных выработок и скважин сопровождается минералого-геохимическими исследованиями, каротажем разведочных скважин, комплексными геофизическими и геохимическими наблюдениями.

Для упорядоченного хранения первичных геологических документов, оперативного подбора, группировки и сортировки задокументированных разведочных пересечений создаются специальные картотеки. Собранная геологическая, геофизическая, геохимическая и другая информация кодируется и выносится на перфокарты или записывается на магнитные ленты.

Опробование горных выработок и скважин приобретает в условиях эксплуатационной разведки массовый характер, а количество отбираемых проб увеличивается по сравнению с детальной разведкой в десятки и сотни раз. Расширяется и круг задач, решаемых с помощью опробования разведочных и эксплуатационных выработок. Кроме определения средних содержаний полезных компонентов и оконтуривания промышленноценных скоплений, в задачи опробования входят сбор исходных данных для суждения о полноте отработки недр, оценки вероятных потерь и степени разубоживания полезного ископаемого при эксплуатации.

Массовый характер опробования горных выработок и скважин предопределяет выбор высокопроизводительных способов пробоотбора, обладающих низкой себестоимостью. В условиях эксплуатационной разведки шире, чем на допроектных стадиях, применяется шпуровое опробование, а бороздовый способ пробоотбора с успехом заменяется пленочным. Особенно широкие возможности открываются для применения ядерно-физических методов опробования в подземных горных выработках и скважинах, а также при оценке содержаний полезных компонентов в вагонетках, ковшах экскаваторов, автомашинах и других емкостях. Пониженная точность результатов перечисленных методов компенсируется резким увеличением общего числа замеров, что при отсутствии систематических погрешностей полностью обеспечивает запросы производства.

В процессе эксплуатационной разведки продолжаются работы по дальнейшему изучению и детализации технологических свойств полезного ископаемого, горно-геологических и инженерно-геологических условий эксплуатации месторождения.

Задачи технологических исследований сводятся к проверке и совершенствованию схем переработки применительно к каждому технологическому типу и сорту полезного ископаемого, а также к уточнению их технологических свойств в пределах каждого эксплуатационного участка и блока.

Главной задачей гидрогеологических исследований является оценка обводненности разрабатываемых эксплуатационных участков и блоков, условий поступлений вод в подземные горные выработки или в карьер и определение их вероятного количества. Для этого производятся наблюдения за водопритоками, степенью водопроницаемости пород, уровнями вод в скважинах и водоносными структурами, которые вскрываются разведочными и горно-эксплуатационными выработками. При неблагоприятных инженерно-геологических условиях: многолетней мерзлоте, карсте, оползнях или плывунах, повышенной нефте- или газоносности — проводятся специальные исследования для изучения этих факторов и обоснования рекомендаций по борьбе с ними.

Горно-технические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород – буримость, крепость, взрываемость и др. – определяются по отдельным блокам экспериментально – по хронометражу, а их гранулометрический состав – путем лабораторных исследований образцов. Устойчивость пород устанавливается в отдельных блоках непосредственными наблюдениями в горных выработках.

Обобщение первичных материалов и создание геологических моделей. Предельно густая сеть наблюдений позволяет создавать весьма детальные геологические модели разрабатываемых месторождений, которые по своей достоверности могут практически приниматься за «истинные» и служить эталонами для сравнительной оценки степени разведанности запасов на более ранних стадиях. Важнейшими графическими моделями отработанных участков месторождений являются их сводные планы, разрезы и проекции залежей полезных ископаемых на вертикальные или горизонтальные плоскости.

Колоссальная исходная информация о свойствах и важнейших геологоразведочных параметрах полезного ископаемого, наблюденная по предельно густой разведочной сети, создает исключительно благоприятные условия для широкого применения методов геометризации недр и геолого-математического моделирования: Для минимизации дисперсий распространения важнейших геологоразведочных параметров при расчетах оценок среднеблочных содержаний полезных компонентов могут использоваться методы геостатистики, дискретного и непрерывного крайгинга.

Главная особенность подсчета и учета запасов в условиях эксплуатационной разведки заключается в том, что запасы полезного ископаемого и полезных компонентов в недрах непрерывно изменяются. На эксплуатационных участках и в отдельных разрабатываемых блоках они уменьшаются вследствие добычи и потерь и в конечном итоге погашаются. Во вскрываемых, подготавливаемых и подготовленных к добыче блоках ранее разведанные запасы доразведываются, а их пространственное положение, условия залегания и качество уточняются, в связи с чем возможно как увеличение, так и уменьшение запасов по

отдельным участкам и блокам. В пределах разрабатываемых участков разведочными работами, как правило, выявляются новые скопления полезного ископаемого в виде апофиз, параллельных или слепых залежей, что приводит к увеличению общих запасов эксплуатационного участка. Для того чтобы постоянно иметь отчетливое представление о состоянии минерально-сырьевой базы эксплуатируемого участка действующего предприятия, по результатам эксплуатационной разведки ежегодно составляется полный баланс запасов по состоянию на 1 января очередного года. В балансе отражаются изменения цифр запасов, их качественного состава, степени разведанности и подготовленности к отработке. Поскольку баланс запасов отражает их состояние только на установленный момент времени и непрерывно изменяется в течение года, перевод ранее разведанных запасов в более высокие категории и погашение отработанных запасов производятся геолого-маркшейдерской службой горного предприятия в оперативном порядке. В этих условиях оценка степени разведанности запасов по категориям А, В и C_1 становится второстепенной задачей по сравнению с их оценкой по степени подготовленности к выемке.

При подсчете запасов на стадии эксплуатационной разведки производится их сравнение с ранее подсчитанными запасами. Полученные данные систематически учитываются, анализируются причины расхождений, а выводы используются для совершенствования методики дальнейших геолого-разведочных работ. Результаты подсчета запасов сопровождающей эксплуатационной разведки используются также для оценки фактических потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче.

Оценка экономической эффективности промышленного использования запасов производится в процессе эксплуатационной разведки в оперативном порядке. Экономическая оценка по результатам опережающей эксплуатационной разведки проводится по отдельным горизонтам, участкам и блокам месторождения, подготавливаемым к эксплуатации на ближайшие один-два года. Она должна выявить те реальные результаты, которые могут быть получены при эксплуатации подготавливаемых участков месторождения. Данные этой оценки принимаются в ос-

нову оптимального текущего планирования производственной деятельности предприятия на предстоящий год с использованием всех оценочных показателей. Особую важность приобретает правильное определение качества минерального сырья, и, в частности, содержания основных полезных компонентов в добытых рудах, которые оказывают непосредственное влияние на выпуск товарной продукции и ее себестоимость. Для некоторых видов минерального сырья важно содержание вредных примесей, осложняющих процесс переработки полезного ископаемого.

Результаты опережающей эксплуатационной разведки оказывают влияние и на основные показатели эффективности капитальных вложений, в частности на величину удельных капитальных затрат и на уровень рентабельности на вложенные средства. Путем уточнения данных планируемого года вносятся коррективы в общий срок окупаемости капитальных вложений.

Экономическая оценка результатов сопровождающей эксплуататационной разведки проводится только по отработанным блокам.

Ее данные используются для оперативного декадного, суточного и сменного планирования производственной деятельности рудника. При прочих равных условиях особое внимание уделяется количеству запасов полезного ископаемого в блоке, средним содержаниям полезных компонентов, качественной характеристике руд и горно-геологическим условиям их разработки.

1.10.5. Разведка в пределах горного отвода

Одновременно с эксплуатационной разведкой в пределах горного отвода и на его периферии проводятся поисково-разведочные работы для выявления новых участков и месторождений полезного ископаемого. Они выполняются геологической службой горного предприятия или геологоразведочными партиями по договоренности с промышленными организациями. В соответствии с действующими методическими указаниями эти работы относятся к особой стадии*. Целью этих работ является расширение перспектив месторождения путем выявления дополнительных минеральных ресурсов в непосредственной бли-

зости от эксплуатируемых участков. Расширение минерально-сырьевой базы действующего предприятия способствует продлению срока его существования, повышению эффективности эксплуатации недр и эффективности капитальных затрат, вложенных в промышленный комплекс. Целесообразность проведения этих работ обусловлена тем, что по мере расширения и углубления добычных

Название стадии «Разведка в пределах горного отвода» не отражает существа, так как работы проводятся не только в пределах, но и по периферии горного отвода, включают в себя не только разведку, но и поиски новых объектов и представляют собой не стадию, а разновидность геологоразведочных работ, проводимых в условиях действующих горных предприятий одновременно с эксплуатационной разведкой.

работ уточняются представления о геологических закономерностях локализации полезного ископаемого, совершенствуются прогнозы и повышается эффективность поисковых работ, а также возрастают технические возможности выявления и вскрытия «слепых» продуктивных залежей и зон на ранее труднодоступных глубоких горизонтах.

По детальности проведения геологоразведочные работы в пределах горного отвода могут соответствовать поисковым работам, предварительной или

детальной разведке. От геолого-разведочных работ предпроектных стадий они отличаются:

– непрерывностью поисково-разведочного процесса в связи с нецелесообразностью выделения отдельных разведочных стадий в условиях действующего горного предприятия;

– зависимостью срока передачи разведываемого объекта в промышленное освоение от сочетания ряда горно-геологических и технологических условий.

Близость действующего горного предприятия часто оказывает заметное влияние на выбор технических средств разведки в пределах горного отвода. При проектировании и выполнении этих работ, шире чем на допроектных стадиях разведки, используются подземные горные выработки и буровые скважины из них, особенно при разведках на глубоких горизонтах и флангах

месторождения. При обосновании густоты разведочной сети, способов и параметров пробоотбора, методики геологической документации разведочных пересечений, рационального комплекса геофизических и геохимических работ, кондиций к подсчету запасов, методики оконтуривания и подсчета запасов широко используются результаты детального геологического изучения и геолого-математического моделирования важнейших свойств разрабатываемого месторождения, которые в подавляющем большинстве случаев могут быть приняты за эталонные.

Основные отличия разведки в пределах горного отвода заключаются в особенностях геолого-экономической оценки выявленных объектов, содержание которой заметно различается в зависимости от результатов геолого-разведочных работ.

Если разведкой выявляются дополнительные запасы полезного ископаемого в таких количествах, которые существенно не влияют на величину годовой производительности предприятия, то они рассматриваются как его дополнительные минеральные ресурсы. Подсчет запасов проводится по действующим кондициям в оперативном порядке, а вновь разведанные запасы вовлекаются в эксплуатацию по мере производственной необходимости. Задача экономической оценки сводится к оперативному учету влияния вновь разведанных запасов полезного ископаемого на промышленную значимость месторождения.

При весьма благоприятных результатах разведки, когда в пределах горного отвода, вблизи отрабатываемого месторождения, на его флангах или на глубоких горизонтах выявляются значительные запасы полезного ископаемого, превышающие ранее утвержденные запасы более чем на 50 %, производится полный пересчет запасов и переутверждение их в ГКЗ. В таких случаях ставится задача по переоценке народнохозяйственной значимости месторождения и обоснованию целесообразности увеличения производственной мощности горного предприятия.

В исключительно благоприятных условиях в результате разведки в пределах или на периферии горного отвода может быть открыто новое месторождение со столь крупными или высококачественными запасами полезного ископаемого и полезных компонентов, что потребуется полная переоценка масштаба

горного предприятия и строительство нового, более мощного промышленного комплекса. Тогда разведка в пределах горного отвода приобретает самостоятельное значение как разведка нового промышленно-ценного объекта. По целям, задачам и принципам геолого-экономической оценки такая разведка не отличается от предпроектной, поскольку появляется необходимость ее разделения на несколько последовательных стадий с геолого-экономической оценкой результатов разведочных работ по каждой из них. По результатам первой (предварительной) стадии оцениваются общие масштабы и среднее качество запасов, и составляется ТЭД, а по результатам второй (детальной) стадии уточняются все данные, необходимые для составления проекта отработки месторождения и строительства нового промышленного комплекса. Экономическая оценка такого месторождения проводится при составлении ТЭДа, при разработке кондиций к генеральному подсчету запасов и в процессе составления проекта строительства нового промышленного комплекса. При этом учитывается фактор времени, и используются все оценочные показатели.

1.11. Разведка месторождений различных морфогенетических типов

Еще в 1940 г. В.М. Крейтером было выделено пять рудных типов месторождений, различающихся по формам рудных тел и требующих различного методического подхода к их разведке. Морфогенетический признак группировки месторождений полезных ископаемых для разведочных целей сохраняет свое значение и в настоящее время. В соответствии с этим признаком месторождения полезных ископаемых разделяются на:

– пластовые и пластоподобные;
– плащеподобные и россыпные;
– жильные и жилообразные;
– трубообразные;
– штокверки и штокверкоподобные.

Между выделенными морфогенетическими типами существуют переходные типы, а в пределах конкретных месторожде-

ний часто встречаются рудные тела нескольких морфогенетических типов [1, 4].

1.11.1. Разведка пластообразных месторождений

Пластообразные месторождения разделяются на сингенетические – пластовые и на эпигенетические – пластоподобные месторождения.

В пластовых месторождениях залежи полезных ископаемых занимают самостоятельное стратиграфическое положение в геологическом разрезе, обладают практически сплошным строением и охватывают всю мощность минерализованного пласта. К их числу относятся осадочные месторождения железа, марганца, бокситов геосинклинального типа, углей, горючих сланцев, фосфоритов, минеральных солей, гипса, ангидрита, известняков, доломитов и ряда других полезных ископаемых. По размерам и степени выдержанности среди них выделяются устойчивые пластовые и менее устойчивые пластово-линзовидные залежи.

Пластоподобные месторождения могут иметь магматическое, контактово-метасоматическое, гидротермальное или инфильтрационное происхождение. Псевдопластовые залежи апатитов, лопаритоносных луявритов и малиньитов и сульфидных медно-никелевых руд связаны со стратифицированными щелочными и основными интрузивами платформенного типа. Пластоподобные железорудные, борсодержащие, медные, полиметаллические и вольфрам-молибденовые залежи скарнового типа располагаются в контактах силикатных и карбонатных пород, а стратифицированные залежи медных, свинцово-цинковых, реже арсенопиритовых и сидеритовых руд – в пластах пород, благоприятных по литологическому составу. С пластами песчаников связаны инфильтрационные залежи ураново-ванадиевых и медных руд, а с пластами карбонатных пород – месторождения серы.

Как пластовые, так и пластоподобные месторождения могут залегать горизонтально, наклонно или образовывать складки в зависимости от дислоцированности вмещающих пород.

Всем пластообразным месторождениям свойственны некоторые общие черты, определяющие методические особенности их разведки:

– залежи полезных ископаемых отличаются устойчивой формой, большими размерами, выдержанностью по падению и простиранию и мощностями на два-три порядка меньше двух других их размеров;

– положение залежей определяется элементами слоистости пород или элементами залегания контактовых поверхностей между породами различного состава, что обеспечивает выдержанность рудоносных геологических структур по площади;

– залежи обладают четкими природными границами, простым или слабопрерывистым внутренним строением;

– в геологических разрезах обычно выделяются «продуктивные толщи», охватывающие ограниченные по мощности пачки литологические благоприятных пород, в пределах которых локализуются все залежи полезного ископаемого.

Разведка пластообразных месторождений осуществляется преимущественно буровыми скважинами. Этому способствуют их крупные размеры, устойчивые формы. Четкий геологический контроль элементами слоистости вмещающих пород или выдержанными контактовыми поверхностями.

Конкретные размеры ячеек разведочных сетей изменяются в широких пределах для разных природных типов платообразных месторождений (табл. 1.7). Расстояния между смежными разведочными пересечениями принимаются на один – два порядка больше величины средней мощности залежи и связаны с ней обратной пропорциональной зависимостью.

Таблица 1.7

Ориентировочные расстояния между смежными разведочными пересечениями пластообразных залежей (категория C_1)

Типы залежей	Средняя мощность	Расстояния между разведочными пересечениями, м
I. Пластовые	Более 100 м	800–2000
	Десятки метров	400–800

продолжение табл. 1.7

II. Псевдопластовые в магматических породах	Метры Десятки метров Метры	200–400 300–600 200–300
III. Пластоподобные эпигенетические	Десятки метров Метры	100–200 40–100

Постепенное уменьшение расстояний между смежными пересечениями от первого к третьему типу залежей связано с уменьшением их размеров, усложнением форм и строения эпигенетических залежей. Поэтому при разведке наиболее сложно построенных или пластоподобных залежей в сочетании с буровыми скважинами используются также и подземные горные выработки.

На ранних стадиях разведочных работ особенно важно выяснить основные черты геологического строения месторождения: складчатые структуры, разрывную тектонику и литолого-фациальные особенности пород, которыми определяются закономерности пространственного размещения полезных ископаемых. Это обеспечивается проведением детальных геологических съемок на инструментальной топооснове и широким использованием методов структурной геофизики. Особое внимание уделяется изучению стратиграфии, фациальному и литологическому составу вмещающих пород, выделению маркирующих горизонтов, ритмов и циклов процесса осадконакопления.

Первые скважины, вскрывающие залежи полезных ископаемых, бурятся на полную мощность продуктивной толщины, поскольку в ее пределах вероятно выявление новых продуктивных залежей. После оценки продуктивности отдельных горизонтов толщи дальнейшее сгущение сети скважин целесообразно только в пределах каждой залежи. При сгущении разведочной сети для увеличения производительности и снижения себестоимости буровых работ возможно перебуривание вышележащих пород без отбора керна, но с обязательным комплексным каротажем скважин.

Опробование колонковых скважин производится по керну (при опробовании канав и шурфов отбираются бороздовые пробы) с разделением их на секции, длины которых определяются мощностями литологических разновидностей минерализованных пород. Значительно реже при одинаковом составе вмешающих пород и больших мощностей залежей отбираются интервальные пробы длиной от 1–2 до 5 м. Для геологической документации скважин широко используются методы комплексного каротажа.

Оконтуривание по разведочным пересечениям производится по данным геологической документации и каротажа скважин, поскольку залежи обладают, как правило, четкими природными границами. Кроме минимального промышленного содержания ведущими кондиционными показателями являются рабочая мощность и максимально допустимая мощность пустых прослоев.

Запасы подсчитываются способами разрезов (при больших мощностях и сложных формах залежей) или блоков (при небольших мощностях и простых формах залежей). При оценке средних значений геологоразведочных параметров задача сводится к двумерной модели (в продольной плоскости залежи). Поэтому при условии геометрически правильной разведочной сети для оценки средних содержаний или линейных запасов по элементарным блокам может использоваться методика дискретного крайгинга.

1.11.2. Разведка плащеподобных и россыпных месторождений

Плащеподобные месторождения связаны с площадными и линейными корами выветривания материнских пород. Среди них наиболее широким развитием пользуются месторождения железа, бокситов, каолинов, марганца и силикатного никеля. Снизу залежи ограничиваются поверхностями невыветренных материнских пород, а сверху – перекрываются чехлом современных осадков или более древних осадочных отложений. Верхние контакты залежей выдержаны лучше, чем нижние. При сочетании площадных и линейных кор выветривания собствен-

но плащеподобные части залежей осложняются снизу уходящими на глубину клино- и пластообразными отростками.

Невыдержанность нижних контактов и изменчивость их контуров в плане определяют более сложные формы плащеподобных залежей по сравнению с залежами пластового и пластоподобного типов. Строение большинства плащеподобных залежей простое, но многие из них обнаруживают признаки отчетливой вертикальной зональности, а месторождения силикатных никелевых руд часто отличаются заметной прерывистостью и извилистыми очертаниями в плане.

Россыпи относятся к типичным экзогенным месторождениям. По условиям образования выделяются элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские россыпи. Главное практическое значение имеют аллювиальные и прибрежно-морские россыпи ильменита, циркона, монацита, золота, касситерита и алмазов. Современные россыпи представляют собой поверхностные образования, ограниченные снизу плотиком (коренными породами), а сверху – маломощным чехлом рыхлых осадков. Часто верхняя граница россыпей непосредственно обнажается на дневной поверхности. Погребенные россыпи перекрываются мощным чехлом четвертичных или более древних отложений. Промышленно-ценную часть россыпи принято называть «песками», а перекрывающие их практически пустые осадки – «торфами».

Резкие природные границы россыпей проявлены только в их нижних частях, а ширина и мощность россыпи устанавливаются условно, по заданному содержанию. Поэтому представления о морфологии россыпи зависят не только от их природных свойств, но также от кондиций, принятых за основу при их оконтуривании.

Подавляющее большинство россыпей характеризуется в плане вытянутыми лентообразными формами, а их строение отличается сложностью с проявлениями неоднородности на нескольких структурных уровнях. Нередко прослои песков разделяются ложными плотиками (прослоями пустых, как правило, более плотных осадков), а в плане обогащенные участки песков образуют «струи», «кусты» или «гнезда» самых различных раз-

меров и форм. На более высоких структурных уровнях россыпи различаются по гранулометрическому составу полезных минералов.

В практике разведки россыпи разделяются на три группы.

К первой группе относятся очень крупные и хорошо выдержанные россыпи с относительно равномерным размещением полезных минералов, выдержанной мощностью и сравнительно ровным плотиком (прибрежно-морские россыпи титана, ильменита и монацита, крупные долинные россыпи золота и др.).

Ко второй группе относятся крупные, выдержанные по ширине, но не равномерные по содержанию, часто струйчатые россыпи с ложными плотиками и многоярусным расположением песков или выдержанные россыпи средних размеров (пляжевые россыпи монацита, титана, золота, долинные россыпи алмазов, касситерита и др.).

К третьей группе относятся россыпи средних размеров, невыдержанные по ширине и по мощности, с неравномерным размещением полезных минералов и неровным плотиком (крупные аллювиально-делювиальные террасовые, русловые, косовые, мелкие пляжевые и дельтовые россыпи золота, касситерита, алмазов и других полезных минералов).

Плащеподобным и россыпным месторождениям свойственны общие черты: практически горизонтальные и приповерхностные условия залегания, зависимость морфологии нижних границ залежей от характера поверхности подстилающих коренных пород и выдержанная верхняя граница залежей.

Разведка плащеподобных и россыпных месторождений проводится с помощью шурфов, буровых скважин или траншей. Шурфы используются в качестве основного технического средства при разведке некоторых россыпей. Для разведки плащеподобных месторождений широко применяются вертикальные колонковые скважины, а для разведки многих россыпей – скважины ударно-вращательного или ударно-захватного бурения. Россыпи, весьма изменчивые по внутреннему строению и содержанию полезных минералов, разведываются с помощью траншей.

Во всех случаях применяются системы вертикальных разведочных разрезов, которые располагаются параллельно, а при

разведке аллювиальных россыпей – непараллельно друг другу. Многие плащеподобные месторождения разведываются выработками по прямоугольной сети с соотношениями сторон, равными показателям анизотропии форм залежей. При разведке россыпных месторождений с лентоподобными контурами в плане размеры длинных сторон ячеек разведочной сети на порядок больше размеров их коротких сторон.

Размеры ячеек разведочных сетей изменяются в зависимости от типов и геологических особенностей разведываемых месторождений (табл. 1.8).

При разведке плащеподобных и россыпных месторождений широко используются геофизические методы.

Гравиметрические съемки используются для выявления погребенных форм рельефа коренных пород при разведке россыпей.

Таблица 1.8

Ориентировочные размеры разведочных сетей для оценки запасов пластообразных и россыпных месторождений (категория C_1)

Типы месторождений	Средняя мощность	Показатель анизотропии фирмы	Размеры сети, м
Плащеподобные			
Железо и каолин Бокситы Силикатный никель	Десятки метров Метры Метры – первые десятки метров	2–4 1–2 1–2	От 400×200 до 400×100 От 200×100 до 100×50 От 100×50 до 50×25
Россыпные			
Первая группа Вторая группа Третья группа	Метры - // - - // -	10–20 10–20 10–20	От 800×80 до 800×20 От 400×40 до 400×20 От 200×20 до 200 (100) ×10

Электропрофилированием и ВЭЗ изучают рельеф кровли коренных пород. Сейсмические методы с взрывным или ударным способами возбуждения колебаний обеспечивают хорошие результаты при разведке россыпей при глубоких залеганиях коренных пород (более 15 м). Сейсмоакустические методы широко используются при разведках прибрежно-морских россыпей для изучения разрезов морских осадков и рельефа подстилающих коренных пород.

При разведке плащеподобных месторождений основное внимание обращают на выявление их вертикальной минералогической зональности, характера изменчивости и морфологических особенностей поверхностей лежачих боков залежей. Так, например, в месторождениях силикатных никелевых руд основные концентрации никеля тяготеют к зоне нонтронизированных серпентинитов, подстилающих зону железистых охр, а основные концентрации кобальта к низам зоны охр и верхней части зоны нонтронитов. В остаточных месторождениях бокситов часто проявляется, не только вертикальная, но и горизонтальная зональность, определяющая закономерное увеличение содержания глинозема и уменьшение содержания кремнезема к центральным частям линзоподобных залежей.

Наиболее изменчивым геологоразведочным параметром плащеподобных месторождений являются мощности залежей. В процессе разведочных работ должны быть выявлены морфогенетические особенности почвы залежей и установлены связи рудных выступов или отростков с неровностями палеорельефа, карстовыми полостями или тектоническими зонами, по которым развились линейные коры выветривания. В случаях сложной морфологии нижних контактов залежей оптимальная густота разведочной сети определяется характером их изменчивости, поскольку изменчивость остальных геологоразведочных параметров, в том числе и содержаний полезных компонентов, оказывается несравненно более низкой. По результатам разведки составляются карты подрудного рельефа, определяющего морфологические особенности рудных тел.

Методика разведки, опробования и подсчета запасов россыпей отличается рядом специфических особенностей. В зави-

симости от глубины залегания песков, физического состояния осадков и сложности строения россыпей применяются различные технические средства их разведки. Слабоводоносные россыпи и россыпи в районах долголетней мерзлоты разведываются шурфами. Многие россыпи разведываются скважинами ударно-вращательного бурения диаметрами от 121 до 219 мм. Для бурения скважин большего диаметра вместо шурфов используется буровая установка УБСР-25, позволяющая бурить скважину медленно-вращательным и ударно-захватным способами до глубины 25 м диаметром 715 мм. Чем крупнее агрегаты и ниже содержания полезных минералов, тем больше должны быть диаметры разведочных скважин. Для получения надежных результатов буровой разведки башмаки обсадных труб должны постоянно находиться ниже долота и желонки, а при бурении в мерзлых или сильноглинистых осадках должна проводиться кавернометрия скважин. Результаты буровой разведки обязательно контролируются горными работами путем проходки шурфов, сопряженных с осями ранее пробуренных скважин.

Весьма изменчивые золотоносные и алмазные россыпи разведываются траншеями, которые проходятся с помощью экскаваторов, малолитражных драг или гидравлическим способом. Глубокими канавами или траншеями рыхлые отложения вскрываются до плотика, вся добытая масса промывается на специальных обогатительных установках, а среднее содержание полезных минералов в песках определяется по фактической добыче.

Опробование россыпей в процессе их разведки проводится с обязательным измерением объемов проб, поскольку концентрация полезных минералов выражается в весовых единицах на 1 $м^3$ песков. Для этого используются специальные мерные сосуды – ендовки, имеющие форму продолговатых ящиков, размером вверху 0,60×0,30 м, внизу 0,50×0,20 м и высотой 0,17 м. Объем ендовки 0,02 $м^3$ песков в разрыхленном состоянии.

Рациональные объемы проб зависят от содержаний и размеров зерен полезных минералов, а также от характера их распределения в песках. Чем ниже содержания полезных минералов, крупнее их зерна и неравномернее распределение песков в

опробуемой массе, тем больше должны быть исходные объемы проб. Оптимальные массы проб рассчитываются по формулам.

В практике разведки объемы проб принимаются от 1–3 до 10 ендовок и более. При опробовании контрольных шурфов, а также при разведке алмазных россыпей в пробу отбирается весь материал, вынутый с каждого интервала шурфа. Интервалы опробования шурфов и скважин принимаются: для золотых и платиновых россыпей 0,2 м, для оловянных, вольфрамовых и монацитовых россыпей – 0,5 м; для алмазных, титановых и цирконовых россыпей – 1–2 м.

Обработка проб, в отличие от других месторождений, производится на месте их отбора путем промывки на лотках, бутарах или специальных установках с обязательным контролем полноты извлечения полезных минералов из песков. Наиболее совершенным промывным устройством является механизированная передвижная обогатительная установка ЦНИГРИ ПОУ-4М. Способы опробования траншей зависят от способов их проходки. При проходке траншей гидравлическим способом размываемая масса осадков пропускается через шлюзы, а проходка траншей и промывка песков производится секциями длиной не более 20–40 м. Вскрытые пески полностью промываются с тщательным предварительным замером их объема. В случаях проходки траншей малолитражными драгами объемы проб определяются суточной производительностью драги.

Анализы проб производятся минералогическими или химическими (физическими) методами. Минералогические анализы проб используются при разведках россыпей высокоценных минералов алмазов, золота, платиноидов, тантало-ниобатов и др. При разведках ильменитовых, цирконовых, касситеритовых и других россыпей минералогические анализы часто заменяются химическими (или физическими) анализами, которыми определяются валовые содержания полезных элементов.

Отобранные пробы подвергаются испытаниям для установления важнейших технических свойств осадков: гранулометрического состава песков и зерен полезных минералов, валунистости, промывистости, коэффициента разрыхления, льдистости, объемной массы и влажности песков.

Технологические свойства песков устанавливаются в первом приближении при промывке проб на передвижных обогатительных установках и уточняются полупромышленными или промышленными испытаниями.

Оконтуривание и подсчет запасов производится на основании промышленных кондиций. Значения кондиционных показателей зависят от природных свойств россыпи и в значительной степени — от проектируемого способа ее отработки (открытая или подземная, отработка на массу дражными или гидравлическими способами, селективная механизированная или ручная отработка и т. д.).

Оконтуривание в разведочном пересечении проводится по бортовому содержанию с учетом кондиций на рабочую мощность и максимальную мощность пустого прослоя. Оконтуривание россыпи в плоскости разведочного разреза производится с учетом пространственных связей рудных интервалов с элементами литолого-фациального строения продуктивного участка песков и геоморфологического строения долин или морских побережий. Кроме того, учитываются требования технологии разработки россыпи (минимальная и максимальная глубина черпания драги, минимальная ширина дражного прохода, предельная высота надводного борта разреза и др.). Все эти элементы выносятся на поперечные разведочные разрезы и наряду с данными опробования определяют размеры и контуры подсчетных блоков. Увязка данных между смежными разведочными разрезами производится по совокупности литолого-фациальных, геоморфологических и гидродинамических критериев с учетом специальных требований эксплуатации в зависимости от проектируемого способа разработки россыпи.

Подсчет запасов выполняется способом блоков или линейным способом, который представляет собой разновидность способа разрезов. Средние содержания выражаются весом полезного минерала в 1 $м^3$ разрыхленных песков. В значения средних содержаний вносятся поправки за валунистость и льдистость песков. Иногда в значения запасов полезного минерала вносятся поправки за несовершенство буровой техники и за «намыв».

1.11.3. Разведка жильных и жилообразных месторождений

По структурно-морфологическим особенностям рудные тела этих месторождений разделяются на простые жилы, сложные жилы, жило- и линзоподобные залежи. Простые жилы имеют крупные размеры (до километра и более по простиранию), выдержанную и часто значительную мощность. Сложные жилы отличаются меньшими размерами, многочисленными разветвлениями по падению и простиранию и невыдержанными мощностями. Жильные месторождения обычно представлены сериями жил, количество которых достигает десятков, а иногда и сотен. Среди многих жил, как правило, выделяются единичные, наиболее крупные рудные тела, запасами которых определяется масштаб и промышленная ценность месторождения.

Жилообразная форма рудных тел типична для самых различных полезных ископаемых. Наиболее важное промышленное значение в настоящее время имеют жильные месторождения золота, олова, вольфрама, кобальта, молибдена, флюорита, барита, витерита и полевого шпата, жильные зоны асбеста и сурьмы, жило- и линзоподобные месторождения колчеданов, флюорита, талька и хромитовых руд. Наиболее простыми формами, крупными размерами и сравнительно простым строением отличаются жильные месторождения полевых шпатов, барита (витерита) и флюорита. На месторождениях редких и благородных металлов простые и сложные жилы встречаются совместно, образуя взаимопереходы или сопрягаясь друг с другом. Жильными пучками или жильными зонами называются группы жил, сближенных настолько, что они могут разведываться единой системой разведочных выработок и скважин, но каждая из жил должна отрабатываться самостоятельно. Если расстояние между соседними жилами уменьшается настолько, что становится возможной их отработка общим очистным забоем, понятие жильной зоны заменяется понятием минерализованной зоны. Минерализованные зоны характеризуются значительными мощностями, сравнительно простыми формами, но сложным внутренним строением с элементами неоднородности самых различных

размеров и форм. Все жильные и жилообразные месторождения обладают общими морфогенетическими чертами:

– подчеркнуто малой мощностью рудных тел по сравнению с их размерами по простиранию и падению;

– отчетливым трещинным контролем рудоносных образований с изгибами рудных тел по падению и простиранию и со склонением продуктивных участков в плоскостях жил;

– четкими природными границами, но часто сложной формой контактов, наличием апофиз, раздувами и пережимами, расщеплениями и выклиниваниями по простиранию и падению;

– сложным внутренним строением с элементами неоднородности различных масштабов, от концентрационных рудных столбов до отдельных линз, гнезд и более мелких скоплений рудных агрегатов;

– приуроченностью рудных скоплений – столбов, линз, прожилков, гнезд или агрегатов других форм к участкам изгибов и сопряжений директивных структур на различных уровнях строения.

Разведка жил и жилоподобных залежей производится комбинированными горно-буровыми системами. Соотношения горных и буровых разведочных выработок зависят от размеров, морфологии, строения и условий залегания рудных тел, а также от целей и задач (стадий) разведочных работ. Роль горных выработок возрастает от ранних к поздним стадиям геологоразведочных работ, а также с увеличением углов падений, уменьшением мощностей и размеров жил, усложнением их морфологии и внутреннего строения. Как правило, буровая разведка должна контролироваться подземными горными работами хотя бы в минимальных объемах, т. к. вследствие природной сложности рудовмещающих структур всегда остается опасность неправильной взаимной увязки рудных интервалов смежных разведочных скважин (рис. 1.21).

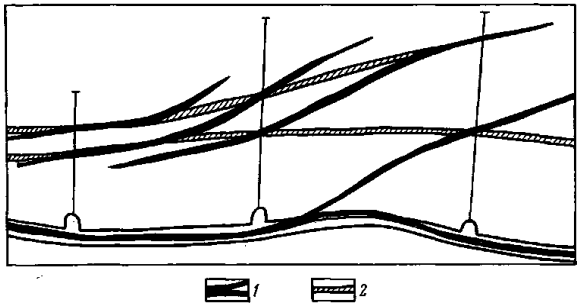


Рис. 1.21. Неверная взаимоувязка рудных жил по редкой сети наблюдений: *1 – истинное положение рудных жил; 2 – неправильная взаимоувязка рудных пересечений по скважинам*

Чем меньше размеры и мощности рудных жил, сложнее их морфология и строение, тем гуще должна быть сеть наблюдений и больше доля горных разведочных выработок, обеспечивающих выявление важнейших геологических факторов рудоконтроля – трещинных структур различных порядков, участков их изгибов по падению и простиранию, расщеплений и др. Жилы, сопоставимые по мощности с шириной подземных горных выработок, разведываются на поверхности канавами по простиранию, а под землей – системами рудных штреков и восстающих.

Такая система разведки обеспечивает сплошное прослеживание жил по простиранию и падению. В случаях, когда мощности жил не вписываются полностью в ширину разведочной выработки, для вскрытия лежачего и висячего боков жилы на поверхности используются поперечные канавы, а под землей – короткие рассечки или шпуры. Обычно рудные штреки и восстающие проходят по наиболее выдержанным и крупным жилам, определяющим промышленную ценность месторождений. Остальные жилы вскрываются на поверхности магистральными канавами, а на каждом горизонте горных работ – системами квершлагов и скважин подземного бурения.

В комплексе с горными выработками рудные жилы и зоны разведываются скважинами поверхностного или подземного колонкового бурения. При крутых падениях рудных жил поверхностные скважины бурятся наклонно, с таким расчетом,

чтобы углы встречи между осями скважин и продольными плоскостями жил были бы не менее 30°. Подземные скважины для вскрытия более глубоких горизонтов приходится бурить из квершлагов, пройденных в висячих боках жил. Для выявления и оценки параллельных жил, подземные скважины бурятся горизонтально (реже веерообразно) из камер, пройденных в штреках каждого горизонта.

Наиболее широким применением буровые работы пользуются на стадии предварительной разведки. Это объясняется не только экономическими соображениями, но и тем, что по сравнению с данными горных работ буровая разведка обеспечивает более равномерное размещение разведочных пересечений по всей площади жилы, что способствует снижению погрешностей экстраполяции и повышению надежности средних оценок важнейших геологоразведочных параметров.

Для выявления возможных новых жил и оценки рудоносности всей жильной зоны в целом, на горизонтах горных работ бурятся подземные горизонтальные скважины. Часто они перемежаются с поисково-разведочными квершлагами, причем на стадии детальной разведки доля последних увеличивается пропорционально суммарной продуктивности жил.

Геометрия разведочной сети зависит от анизотропии форм и внутреннего строения жил. На ранних стадиях анизотропия оценивается по соотношениям размеров жил по падению и простиранию, а на более поздних стадиях – по характеристикам изменчивости линейных запасов по тем же направлениям.

При выборе густоты разведочной сети скважин или расстояний между горизонтами и смежными восстающими ориентируются на полупериоды гармоник, определяющих чередование рудных столбов и разделяющих их пережимов (табл. 1.9).

Количество разведочных пересечений на подсчетный блок определяется выбранной густотой разведочной сети и размерами подсчетных блоков. Экспериментальными исследованиями сотрудников ВИЭМСа установлено, что для предварительной разведки общее количество кондиционных пересечений по жиле должно быть около 20–30 при условии, что вычисленная погрешность среднего содержания будет меньше разности между

ним и минимальным промышленным содержанием для данного месторождения, а погрешность запасов руды – меньше разности между ними и предельными запасами, обеспечивающими возможность проектирования самостоятельного горного предприятия.

Таблица 1.9

Ориентировочные размеры разведочных сетей для жильных и жилообразных месторождений (категория C_1)

Типы месторождения	Средняя мощность жил	Технические средства	Размеры сети, м
Простые жилы барита, полевых шпатов, флюорита и др.	Метры, десятки метров и более	Скважины штреки, орты (скважины)	От 50х50 до 150х150 От 10 до 20 (на одном горизонте)
	Метры		
Простые жилы редких и благородных металлов		Скважины Штреки Восстающие	50х50 От 40 до 80
	Доли метра, метры		От 40 до 80
Сложные жилы		Штреки	
		Восстающие	От 40 до 60
Жило- и линзоподобные залежи	До десяти метров и более	Скважины Штреки Орты (скважины)	От 40 до 60 От 50х50 до 100х100 От80 до 120 От 10 до 40

Геологическая документация разведочных штреков производится по кровле и по забоям, а документация восстающих – по одной или обеим стенкам. Применение методов фотодокументации горных выработок способствует резкому повышению эффективности геолого-разведочных работ. При документации колонковых скважин большое внимание уделяется методам комплексного каротажа для уточнения положений контактов жил, оценки рудоносности зальбандов, выявления мелких прожилков и апофиз, которые могут быть пропущены при неполном выходе керна.

Для опробования горных выработок и скважин используются линейные способы отбора проб. Опробуются не только сами жилы, но также их зальбанды. Границы частных проб определяются особенностями геологического строения жил и зальбандов. По жилам пробы отбираются всегда как секционные, а по зальбандам – как секционные или как интервальные. При малых мощностях жил вместо одной короткой секции из забоя отбираются 2–3 секции и более, которые объединяются в одну. Иногда, при очень малых мощностях прожилков отбираются задирковые пробы.

Запасы жильных месторождений подсчитываются способом блоков. Оконтуривание по разведочному пересечению (пробе, скважине, шпуру или квершлагу) производится по данным геологической документации, а кондиционность пересечения проверяется по рабочей мощности, предельному линейному запасу и заданному предельному содержанию. При оконтуривании по результатам горных работ (штрекам и восстающим) выделяются кондиционные участки, концентрационные или морфологические рудные столбы, участки пережимов и пустых жил. Все они взаимоувязываются с учетом геологических данных на продольных проекциях жил, а при невозможности их уверенной взаимоувязки для каждого подсчетного блока рассчитываются коэффициенты рудоносности. Если общее количество пересечений мало (менее 25–30), коэффициент рудоносности рассчитывается на группу смежных блоков.

При подсчетах запасов по результатам разведки горными работами, особенно в процессе эксплуатационной разведки жил, существенное уточнение оценок важнейших средних параметров может быть достигнуто с помощью непрерывного крайгинга.

1.11.4. Разведка трубообразных месторождений

Трубообразную форму имеют рудные тела алмазных, карбонатитовых, некоторых полиметаллических, молибденовых, оловянных и редкометальных месторождений магматического, пегматитового и постмагматического происхождения. Они залегают в коренных породах самого различного состава и контро-

лируются трещинными или эксплозивными структурами. Трубообразные рудные тела большинства месторождений залегают несогласно по отношению к слоистости вмещающих пород. По размерам они разделяются на две группы: крупные одиночные трубы простой формы и мелкие, часто ветвящиеся трубообразные тела.

Крупные трубчатые тела алмазоносных кимберлитов, карбонатитов, некоторых оловянных, молибденовых и полиметаллических месторождений достигают десятков и сотен тысяч квадратных метров в поперечном сечении, отличаются устойчивой формой, выдержанным залеганием и круто уходят на глубину. Мелкие трубообразные тела полиметаллических, свинцово-серебряных и других руд измеряются метрами и десятками квадратных метров в поперечнике, отличаются неустойчивой, иногда кустовой или древовидной формами и ветвятся в направлении снизу – вверх. Часто они залегают в дислоцированных карбонатных породах и контролируются системами взаимопересекающихся тектонических трещин.

Для трубообразных месторождений типичны:

– резко ограниченные размеры в поперечных сечениях, несопоставимые с длинами трубообразных тел;

– условия залегания, которые вместо падения и простирания характеризуются азимутом и углами ныряния (скатывания);

– сложность выявления и геологического картирования рудо-контролирующих структур;

– сравнительно простое, практически сплошное, реже зональное внутреннее строение;

– отчетливые природные границы по внешним контурам трубообразных тел и менее отчетливые концентрические контуры внутренних зон.

Крупные трубчатые тела, достигающие сотен метров в поперечных сечениях, разведываются с поверхности системами канав, шурфов или короткометражных скважин, а на глубину – скважинами колонкового бурения, часто в сочетании с подземными горными выработками на верхних горизонтах. Для оконтуривания их выходов создается изометрическая сеть поверхностных разведочных выработок. Скважины колонкового бурения

располагаются в разведочных разрезах, которые совмещаются с продольными осями канав. Скважины бурятся наклонно или веерообразно с таким расчетом, чтобы вскрыть контакты трубообразных залежей на различных глубинах. Часто для выяснения азимутов и углов ныряния (скатывания) трубообразной залежи создается две системы взаимноортогональных разрезов.

Проверка данных буровой разведки осуществляется с помощью подземных горных выработок, которыми вскрывается один, реже два верхних горизонта. На каждом разведочном горизонте проходится система взаимноортогональных или веерообразных горизонтальных выработок.

Мелкие трубообразные тела разведываются почти исключительно с помощью разведочных горных выработок. Горизонты горных выработок развиваются последовательно, сверху вниз из ствола разведочной шахты. На каждом горизонте проводится поисковое бурение с помощью горизонтальных скважин, после чего обнаруженные трубки разведываются системами веерообразных или пересекающихся пересечений.

Высота разведочного горизонта зависит от устойчивости элементов скатывания (ныряния) рудных тел, а густота разведочной сети на горизонте – от размеров их поперечных сечений. Обычно высота горизонта принимается порядка 40–60 м, а расстояния между смежными разведочными пересечениями на горизонте могут изменяться от метров до первых десятков метров.

Оконтуривание залежей производится по данным геолого-геофизической документации, а выделение внутренних зон – по заданным содержаниям и другим кондиционным показателям.

Запасы трубообразных месторождений подсчитываются способом горизонтальных разрезов при разведке горными выработками или способом вертикальных разрезов при разведке их скважинами колонкового бурения.

1.11.5. Разведка штокверковых и штокверкоподобных месторождений

Понятие штокверк характеризует не морфологию, а строение рудного тела, представленного густой сетью различно ори-

ентированных рудных прожилков. Такое строение типично для многих вольфрамовых, молибденовых, медных, оловорудных и других залежей, причем прожилковые текстуры часто сопровождаются интенсивной тонкой вкрапленностью рудных минералов.

Под штокверком обычно понимается крупный минерализованный участок недр часто неправильной формы с нечеткими границами, в котором слагающие его породы пронизаны густой сетью различно ориентированных рудных прожилков, сопровождаемых вкрапленностью рудных минералов. Постепенными переходами штокверки связаны с минерализованными зонами дробления, имеющими штокверковое строение, но жило- или линзообразную форму залежей, а также с массивами и телами вкрапленных руд, различных размеров и форм. От жильных зон или залежей с прерывистым гнездовым строением штокверки отличаются тем, что каждое рудное обособление в отдельности не имеет практической ценности, а интерес представляет только вся рудная масса, заключенная в общем промышленном контуре. Залежи, не полностью отвечающие этому условию (например, штокверки с отчетливо прерывистым строением), часто называются штокверкоподобными.

Штокверки и штокверкоподобные месторождения обладают следующими особенностями:

– размеры залежей велики, но сопоставимы по длине, ширине и глубине, их поперечные сечения измеряются сотнями метров, а объемы могут достигать 1 км^3 и даже более;

– четкие геологические границы между промышленноценными участками штокверков и вмещающими породами отсутствуют, поэтому их контуры сильно зависят от кондиционных показателей, принятых в основу оконтуривания;

– внутреннее строение штокверков отличается сложностью, проявляется на нескольких структурных уровнях и отличается разнообразием размеров, ориентировки и рудонасыщенности отдельных рудных скоплений;

– средние содержания полезных компонентов относительно невелики; на фоне общей неравномерности содержаний часто проявляется центробежная зональность; обычно преобладают

один или два рудообразующих компонента при наличии других сопутствующих металлов.

Основным техническим средством разведки штокверков и штокверкоподобных месторождений служат буровые скважины. Этому способствуют крупные размеры и сопоставимые с ними мощности залежей и открытый способ разработки большинства из них. На ранних стадиях разведки используются скважины колонкового бурения, обеспечивающие полноту изучения геологических условий. На поздних стадиях часто применяются скважины ударно-канатного бурения и большого диаметра, что способствует повышению достоверности опробования. Результаты буровой разведки выборочно проверяются горными выработками, обычно на участках детализации разведочных работ.

До начала разведочных работ на площади месторождения проводятся геологическая съемка и комплекс структурно-геофизических и геохимических работ. Особенно высокую эффективность дают ореольные металлометрические съемки, способствующие выявлению первичных и вторичных ореолов ведущих металлов и их спутников на всей территории месторождения.

Разведочные скважины располагаются на площади месторождения равномерно по квадратной, реже прямоугольной сети. Размеры ячеек разведочной сети обычно соизмеримы с мощностями залежей (табл. 1.10). При вскрытии месторождений открытым способом особое значение приобретает точность выявления внешнего контура штокверка, определяющего разнос и положение бортов карьера. С учетом крупных масштабов месторождений, погрешности в определении внешних контуров могут привести к тому, что миллионы тонн руды останутся невынутыми в бортах карьеров или во вскрышу будут вовлечены излишние массы пустых пород. Для уменьшения погрешностей оконтуривания на периферии штокверковых залежей сеть разведочных скважин сгущается.

Таблица 1.10

Ориентировочные размеры разведочной сети при разведке штокверков и штокверкоподобных месторождений (категория C_1)

Тип месторождений	Размеры сети, м
Штокверки	От 50×50 до 100×100
Крупные минерализованные зоны	От 40×60 до 80×120
Массивы и тела вкрапленных руд	От 50×50 до 200×200

В колонковых скважинах и разведочных горных выработках опробование производится поинтервальное. Длина интервалов изменяется от долей метра до 5 м и более.

Опробование короткими интервалами (доли метра) проводится только на участках детализационных работ. Интервальные пробы длиной 1—2 м отбираются на ранних стадиях разведочных работ, когда сведений о строении штокверка еще мало. По мере накопления фактических данных длины интервалов приводятся в соответствие с кондициями на рабочую мощность и максимальную мощность пустых участков, включаемых в промышленный контур. Опробование скважин ударно-канатного бурения производится раздельно, с каждого пробуренного погонного метра.

Для оконтуривания залежей используются кондиции на минимальное промышленное и бортовое содержание, рабочую мощность, пустой прослой и др. Для выделения рудных интервалов по пересечениям используется бортовое содержание.

Подсчет детально разведанных запасов производится способом вертикальных разрезов, а по результатам эксплуатационных разведок – способом горизонтальных разрезов. Вследствие большой мощности залежей количество разведочных пересечений на подсчетный блок измеряется единицами. При разделении запасов на балансовые и забалансовые требования к забалансовым запасам должны быть предельно низкими, поскольку все запасы, находящиеся в контурах проектируемого карьера, независимо от их качества будут вскрыты и добыты.

1.12. Разведка залежей прерывистого строения

Чем сильнее проявлена прерывистость строения полезного ископаемого, тем сложнее методика его поисков, разведки и геолого-экономической оценки. Размеры пространственно изолированных скоплений полезного ископаемого, превышающие размеры ячеек разведочной сети, поддаются выявлению и оконтуриванию по данным наблюдений в разведочных пересечениях, а более мелкие скопления не могут быть оконтурены по результатам разведочных работ. В лучшем случае удастся оконтурить только некоторый продуктивные объем недр, охватывающий все (или почти все) изолированные скопления полезного ископаемого. Этот объем рассматривается как продуктивная залежь прерывистого строения, а содержащиеся в ней запасы оцениваются статистическим способом как доля суммарных рудных объемов в общем объеме продуктивной залежи.

1.12.1. Особенности проявления и группировка прерывистых залежей

В горнорудной практике строение продуктивной залежи считается прерывистым, если объемы пространственно изолированных скоплений полезных ископаемых и разделяющих их участков практически пустых пород сопоставимы с объемами селекции полезного ископаемого, установленными для данного способа разработки месторождения, или больше их. Учет прерывистости внутреннего строения залежей имеет практический смысл только в тех случаях, когда безрудные участки могут быть либо селективно отработаны, либо оставлены в целиках при очистных работах или отделены от рудной массы в процессе рудосортировки (рудоразборки). При объемах отдельных скоплений полезного ископаемого меньше объемов селекции они будут извлекаться из недр совместно с окружающими их породами, а внутреннее строение залежей будет оцениваться как практически сплошное [14].

Всем месторождениям с прерывистым характером оруденения свойственны некоторые общие черты:

– в строении месторождений проявляются от одного до нескольких последовательных структурных уровней, обусловленных прерывистостью оруденения в разных масштабах. Чем больше число последовательных уровней, тем сложнее внутреннее строение продуктивной залежи;

– природные скопления полезных ископаемых на разных структурных уровнях обнаруживают более или менее отчетливые связи с элементами геологического строения соответствующих масштабов. Поэтому, несмотря на прерывистость оруденения, в строении продуктивных залежей проявляется зональность или другие пространственные закономерности размещения участков различной степени продуктивности;

– залежи, а также заключенные в их контурах более мелкие скопления полезного ископаемого отличаются нечеткими геологическими границами. Для оконтуривания залежей и выделения внутри них промышленно-ценных участков (объемов) используются специальные кондиции, основанные на совокупном изучении геолого-экономических данных.

В качестве наиболее распространенной характеристики внутреннего строения продуктивных залежей в практике разведки используется коэффициент рудоносности k_p, выражающий долю суммарного рудного объема ΣV_p в общем объеме продуктивной залежи V,

$$k_p = \frac{\Sigma V_p}{V}.$$

Коэффициент рудоносности – это объемная статистическая характеристика, которая позволяет судить только о степени рудонасыщенности продуктивной залежи, но не содержит информации о размерах рудных скоплений и разделяющих их участков практически пустых пород, а также о закономерностях их пространственного размещения в промышленном контуре.

С учетом сложности строения и степени рудонасыщенности залежи с прерывистым строением можно разделить на три группы: с высокой, умеренной и слабой рудонасыщенностью.

Залежи с высокой рудонасыщенностью (k_p=0,7–1) обладают сравнительно простым внутренним строением с проявлением прерывистости, как правило, только на одном структурном

уровне. В контурах практически сплошной минерализации располагаются разобщенные окна пустых пород, объемы которых обычно больше возможных объемов селекции полезного ископаемого (рис. 1.22, *а*). Высокая рудонасыщенность залежей типична для многих – железорудных, бокситовых, полиметаллических, медных медно-никелевых и других месторождений.

Залежи с умеренной рудонасыщенностью ($k_р$=0,25–0,7) отличаются сложным строением с проявлением прерывистости на двух и более структурных уровнях. Скопления полезного ископаемого разобщены друг от друга и обладают самыми различными размерами.

Группы мелких рудных обособлений часто образуют более крупные, прерывистые скопления, разделенные сопоставимыми по размерам участками практически пустых пород (рис. 1.22, *б*). Таким строением обладают залежи ртутных, урановых, золоторудных, жильных вольфрамовых, молибденовых и оловянных месторождений.

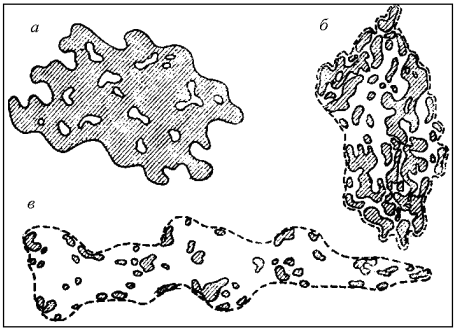


Рис. 1.22. Примеры прерывистого строения залежей:
а – с высокой рудонасыщенностью; б – с умеренной рудонасыщенностью; в – со слабой рудонасыщенностью

Залежи со слабой и весьма слабой рудонасыщенностью ($k_р$<0,25) обладают сложным строением с проявлением прерывистости на нескольких уровнях. Пространственно разобщенные мелкие скопления полезных минералов образуют отдельные гнезда «бонанцы», которые в свою очередь отличаются сложным прерывистым строением. Размеры отдельных гнезд несо-

поставимо малы по сравнению с размерами разделяющих их участков пустых пород (рис. 1.22, *в*). Слабая рудонасыщенность залежей типична для месторождений слюды, пьезооптического сырья, драгоценных камней, некоторых золоторудных и других месторождений.

Рассматриваемые ниже особенности разведки, оконтуривания и оценки относятся главным образом к залежам с умеренной рудонасыщенностью.

1.12.2. Особенности разведки прерывистых залежей

В процессе разведки месторождений с прерывистым строением особое значение придается выявлению генеральных и локальных рудовмещающих структур, которые значительно лучше выдержаны по простиранию и падению, чем отдельные рудные скопления и могут быть использованы в качестве маркирующих элементов при взаимоувязке геологоразведочных данных по смежным разведочным пересечениям и разрезам. Кроме рудовмещающих структур выявляются элементы зональности залежей (чередования рудных и безрудных участков, участков различной продуктивности) и выясняются геологические причины прерывистости оруденения. В соответствии с принципом последовательных приближений на стадии предварительной разведки в качестве объекта изучения принимается продуктивная зона (толща), включающая систему разобщенных продуктивных залежей с прерывистым строением. В стадию детальной разведки выявляются и оконтуриваются отдельные продуктивные залежи, а в процессе эксплуатационной разведки – промышленноценные и пустые (некондиционные) участки, сопоставимые с объемами эксплуатационных блоков, а затем рудные и безрудные объемы, сопоставимые с объемами селекции. По мере детализации разведочных работ рудонасыщенность оконтуриваемых скоплений полезных ископаемых закономерно возрастает, т. к. все более мелкие безрудные участки поддаются уверенному выделению и оставляются за контурами промышленной минерализации. В пределе, когда густота разведочной сети позволит выделить объемы недр, сопоставимые с объемами селекции полез-

ного ископаемого окажется возможным оконтурить все рудные и все практически безрудные участки залежи, доведя рудонасыщенность в контурах промышленной минерализации до 100 % ($k_р$ =1). Таким образом, процесс разведки прерывистых залежей представляет собой процесс последовательной пространственной сортировки промышленно-ценных и практически безрудных ее объемов. Для залежей со сложным прерывистым строением и малыми размерами рудных скоплений, это достигается только в процессе эксплуатационной разведки, сопровождающей очистную выемку блоков.

В связи с необходимостью последовательного сгущения разведочной сети в процессе разведочных работ, при разведке прерывистых залежей отчетливо проявляется тенденция к использованию горных выработок и таких систем разведочных работ, которые позволяют осуществлять последовательное и предельно необходимое сгущение сети из ранее пройденных выработок. Использование горных выработок обусловлено тем, что только геологическими наблюдениями в хорошо обнаженных поверхностях можно проследить сплошность оруденения по падению и простиранию залежей, выявить и изучить локальные рудовмещающие структуры. В сочетании с разведочными горными выработками широко используются мелкие шпуры и подземные скважины.

1.13. Разведка месторождений различных видов полезных ископаемых

В настоящее время в нашей стране добывается более ста видов рудных нерудных и горючих полезных ископаемых, которые встречаются в недрах в твердом, жидком или газообразном состояниях. Методические приемы их разведки, опробования, оконтуривания и геолого-экономической оценки весьма разнообразны. Они зависят от особенностей геологического строения рудных полей и месторождений, свойств полезных ископаемых, особенностей их состава, условий разработки, переработки и использования в промышленности.

Научной основой и залогом успеха проведения разведочных работ является глубокое знание геологии, минералогии и геохимии данного вида полезного ископаемого, геолого-промышленных типов его месторождений и требований промышленности к данному виду минерального сырья. Чрезвычайно важно знать природные парагенезисы минералов и комплексы совместно встречающихся полезных ископаемых для того, чтобы выявлять и оценивать полный комплекс полезных компонентов при разведке любого месторождения.

Ниже рассматриваются только некоторые особенности разведки и геолого-экономической оценки месторождений различных видов полезных ископаемых, которые возникают в связи:

– с особым составом или свойствами полезных ископаемых в недрах;

– с условиями использования минерального сырья в промышленности;

– со спецификой технологии разработки месторождений;

– с исключительно высокой или с весьма низкой ценностью полезного ископаемого;

– с жидким или газообразным состоянием полезного ископаемого в недрах.

1.13.1. Особенности разведки, обусловленные составом или свойствами полезного ископаемого в недрах

Особенности минерального или химического состава полезного ископаемого оказывают существенное влияние на методику разведки месторождений. Полезные ископаемые, представленные одним полезным минералом сложного, но постоянного химического состава – лопаритом, монацитом, пирохлором и др., подвергаются минералогическому, а не химическому опробованию с последующим пересчетом содержаний полезных элементов в руде по данным анализов мономинеральных фракций. Минералогические методы опробования оказываются более эффективными и при разведке россыпных месторождений.

Способность некоторых минералов к люминисценции в катодных, ультрафиолетовых и других лучах используется при

геологическом картировании (реже для опробования) поисках и разведках шеелитовых, алмазных, урановых, флюоритовых и битумных месторождений.

Сыпучесть россыпных, гравийных и песчаных месторождений заставляет применять поверхностные горные работы или скважины вращательного бурения со сплошным опережающим креплением и валовым опробованием песков. При изучении проб первостепенное значение приобретает гранулометрический анализ с выяснением распределения полезных минералов по фракциям.

Из-за легкой растворимости минеральных солей месторождения разведываются почти исключительно колонковыми буровыми скважинами большого диаметра. Поскольку каждая скважина может оказаться проводником подземных вод, особое внимание уделяется ее тщательной изоляции и тампонажу густым глинистым раствором, а количество скважин принимается предельно малым.

Разведка гипсов, доломитов, известняков и полезных ископаемых, залегающих в толщах легкорастворимых вмещающих пород (бокситы, угли), часто осложняется проявлениями карста. Для изучения карста и оконтуривания карстовых полостей сеть буровых скважин намеренно сгущается, а в комплексе с буровыми работами проводится инженерно-геологическая сейсморазведка.

Газообильность многих угольных месторождений, месторождений углистых сланцев и других полезных ископаемых, расположенных в пределах региональных газоносных проявлений, требует проведения: специальных газовых съемок, газокаротажных работ, изучения качественного состава и количества газов во вмещающих породах и трещинных структурах, выяснения степени влияния тектоники, состава пород, подземных вод и других факторов на ход процессов природной дегазации и характер распределения газов.

Высокая сульфатность вод на месторождениях серы и на колчеданных месторождениях способствует замене горных работ разведочными скважинами. Обладая высокой агрессивностью, а часто и повышенной температурой, такие воды интен-

сивно корродируют металлические конструкции, разрушают бетон, ухудшая условия подземных геолого-разведочных работ.

1.13.2. Особенности разведки, связанные с условиями ис пользования минерального сырья в промышленности

В зависимости от производственного назначения минерального сырья промышленность предъявляет к нему самые различные требования. Для большинства металлических руд обязательно условие их рентабельного обогащения. Для черных (реже других) металлов устанавливаются допустимые содержания вредных компонентов. Значительно более строги и разнообразны требования промышленности к использованию многих видов нерудного сырья, особенно полезных минералов и полезных горных пород. Эти требования устанавливаются специальными технологическими условиями (ТУ) или государственными стандартами (ГОСТ). Для решения вопроса о том, в какой степени полезные ископаемые отвечают установленным требованиям промышленности, в процессе разведки месторождений проводятся сортировка и специальные испытания минерального сырья, комплексные исследования состава и свойств полезных ископаемых и технологическое картирование полезного ископаемого.

Сортировка и специальные технические испытания с определениями выхода минерального сырья по каждому сорту проводятся при разведках месторождений: слюд, асбеста, пьезооптического сырья, драгоценных, поделочных и облицовочных камней и некоторых других полезных ископаемых. Так, например, при разведке слюдяных месторождений валовым опробованием (реже опробованием керна) устанавливается выход забойного сырца — кристаллов слюды размером по плоскости спайности не менее 4 $см^2$. Содержание забойного сырца выражается в килограммах на 1 $м^3$ жильной массы. Забойный сырец подвергается разборке и из него выделяют промышленный сырец – кристаллы слюды тех же размеров, поверхность которых на плоскостях спайности не содержит видимых дефектов (трещин, проколов, минеральных включений и др.). По размерам

кристаллов промышленный сырец разделяется на три группы: I группа – более 100 $см^2$; II – группа – от 100 до 50 $см^2$ и III группа – от 50 до 4 $см^2$. Содержание промышленного сырца выражается в процентах от веса забойного сырца. Кристаллы промышленного сырца расщепляются по спайности на пластинки толщиной от 0,1 до 2 мм. Полученная колотая слюда в зависимости от размеров полезной площади кристалла разделяется на восемь номеров: от № 1 площадью более 150 $см^2$ до № 8 – площадью от 6 до 4 $см^2$. Содержание колотой слюды выражается в процентах от веса забойного сырца.

Подсчет и учет запасов слюды в недрах производится в забойном сырце, а оконтуривание и оценка запасов – по так называемым качественным показателям, которые вычисляются сначала раздельно для каждого номера колотой слюды, а затем суммарно для всей пробы. С этой целью весовые количества колотой слюды умножаются на средние площади пластин каждого номера, произведения складываются и делятся на общий объем пробы. Например, если из пробы объемом 3,5 $м^3$ забойного сырца было получено 20,5 кг колотой слюды, а сумма произведений весовых количеств слюды (кг·$см^2$) на средние площади пластин каждого номера составила 217, качественный показатель будет равен: 217:3,5 = 62 кг/$см^2$/$м^3$.

Значения качественных показателей используются для расчета кондиционных минимальных промышленных и бортовых содержаний.

При разведке месторождений оптического сырья основным условием кондиционности кристаллов является наличие в них бездефектных областей – моноблоков, лишенных трещин, посторонних включений, свилей, двойников и других дефектов. Минимальные размеры моноблока пьезокварца должны обеспечивать возможность изготовления хотя бы одной пластинки размером 12х12х х1,5 мм. Условия кондиционности оптического кварца еще строже, т. к. в числе дополнительных требований предусматривается бесцветность кристаллов, прозрачность для ультрафиолетовых лучей, однородность по показателю преломления и отсутствие оптических дефектов. Природные кристаллы кварца подвергаются обогащению путем скалывания дефектных

частей, в результате чего получают кристаллосырье различных сортов: оптический кварц и пять сортов пьезокварца – от сортов экстра до четвертого. Отходы обогащения используются как сорта «спецплавка» и «плавка». В связи с этим для оценки пьезокварца установлено три показателя: процент выхода моноблоков, масса полученного кристаллосырья и моноблоков кварца.

При оценке месторождений полезных ископаемых особенно важное значение приобретает правильное определение сортности минерального сырья и количественных соотношений отдельных сортов, поскольку стоимости кристаллов разных сортов слюды, асбеста, пьезокварца и других полезных минералов расходятся в десятки и сотни раз.

Комплексные исследования состава и свойств минерального сырья проводятся для тех видов полезных ископаемых, которые находят широкое и разнообразное применение в народном хозяйстве (пески, карбонатные породы, глины, каолины, полевые шпаты, твердые горючие и некоторые другие полезные ископаемые). При разведке подобных месторождений качество и свойства минерального сырья должны оцениваться не только с позиций основного производства, но также с учетом возможности использования сырья в других отраслях промышленности и сельского хозяйства. Полное изучение состава и свойств полезных ископаемых обеспечивает комплексное и экономически более эффективное использование недр для нужд народного хозяйства, но требует расширения видов анализов, различных технических и технологических испытаний проб. Так, например, пески используются в стекольном производстве в качестве формовочного материала для производства силикатного кирпича, блоков, пено- и газосиликатных изделий как добавка к цементу, для штукатурных и кладочных растворов в качестве абразивных материалов и др.

В качестве формовочных песков применяются чистые кварцевые, глинистые кварцевые и полевошпатово-кварцевые пески. По содержанию кремнезема и глинистой составляющих формовочные пески подразделяются на девять классов: от чистых кварцевых (классы от 1 К до 4 К) с содержанием глинистой составляющей 2 %, кремнезема до 97 % до жирных и очень

жирных песков (Ж и ОЖ) с содержанием глинозема соответственно 10–30 и 30–50 %. Качество формовочных песков зависит также от содержания окиси железа, окислов щелочей, щелочных земель и от их газопроницаемости.

Для производства силикатных строительных материалов употребляются существенно кварцевые разнозернистые пески с содержанием кремнезема около 80–90 %, глинистых, илистых и пылеватых частиц не более 3–12 %. В цементном производстве используются кварцевые пески (не менее 90 % кремнезема) с суммарным содержанием глинистых, илистых и пылеватых фракций не более 5 % без органических примесей. Для песков, употребляемых при изготовлении штукатурных и кладочных растворов, выдерживаются специальные требования к их гранулометрическому составу, предельному содержанию сернистых и сернокислых соединений.

Для абразивных целей используются чистые кварцевые пески (не менее 98 % кремнезема), не содержащие минералов с большей твердостью, чем у кварца. Зерна должны быть остроугольными, размерами 0,15–0,4 мм и обладать изометрическими формами.

Не менее разнообразные требования предъявляются к качеству и специфическим свойствам карбонатных пород – известняков, доломитов, доломитизированных известняков, мраморов и др., для использования их в качестве флюсов, при производстве цемента, в качестве огнеупорных, строительных, термоизоляционных и облицовочных материалов и др. В связи с широким использованием карбонатных пород в самых различных отраслях народного хозяйства, единых стандартов и общих технических условий к их качеству не существует. Основными показателями пригодности карбонатных пород для промышленного использования являются их химический состав, содержание вредных примесей, структурно-текстурные особенности, физико-механические и некоторые другие специфические свойства. Так, например, в производстве цемента карбонатные породы составляют основную часть цементной шихты (меньшую часть составляют глинистые породы). Содержание карбонатного и глинистого компонентов в цементной шихте должно обеспечи-

вать допустимые значения коэффициента насыщения (КН), силикатного и глиноземного модулей

$$КН = \frac{CaO - (1{,}65Al_2O_3 + 0{,}35Fe_2O_3 + 0{,}70SiO_2)}{2{,}8SiO_2} = \text{ от 0,89 до 0,92;}$$

силикатный модуль

$$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = \text{ от 1,8 до 2,4;}$$

глиноземный модуль

$$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = \text{от 0,9 до 2,0.}$$

В естественном виде эти соотношения выдерживаются только в мергелях «натуралах», которые используются для производства цемента без добавления глины. В цементном производстве учитываются также размалываемость и размокаемость карбонатных пород. Качество карбонатных пород как строительных материалов определяется их механической прочностью в сухом и водонасыщенном состоянии, морозостойкостью, вязкостью, изнашиваемостью, удельной и объемной массой, пористостью, свободным водопоглощением и полируемостью.

Технологическое картирование полезного ископаемого проводится при разведке сложных по составу месторождений, когда в общих контурах залежей объединяются участки, сложенные полезными ископаемыми различных технологических типов и сортов (колчеданные, медные и полиметаллические месторождения, месторождения глин, песков, карбонатных пород и других полезных ископаемых).

При разведке подобных месторождений приводится следующее:

– выделяются все природные типы и сорта полезного ископаемого, после чего устанавливается, какие из них заслуживают выделения в самостоятельные технологические типы и сорта;

– изучаются и оконтуриваются участки, сложенные полезными ископаемыми различных технологических типов и сортов;

– геометризуются важнейшие технологические свойства полезного ископаемого в контурах каждого технологического типа (сорта) полезного ископаемого.

1.13.3. Особенности разведки, обусловленные спецификой технологии разработки месторождений

Предполагаемая технология разработки месторождений оказывает заметное влияние на методику и технику геологоразведочных работ. Открытые способы разработки способствуют снижению требований промышленности к качеству минерального сырья и увеличению масштабов производства, что приводит к увеличению размеров залежей полезных ископаемых, упрощению представлений об их внутреннем строении и в конечном итоге – к разрежению разведочной сети и широкому использованию буровых способов разведки. Для проектирования открытой разработки главное значение имеет правильное определение внешних контуров залежей, поскольку ими ограничивается расположение бортов карьера, в то время как при проектировании подземной отработки чрезвычайно важно знать условия залегания и детали пространственного размещения всех продуктивных скоплений в контурах залежи. Месторождения, предназначенные для карьерной разработки, разведываются относительно редкой сетью скважин со сгущением их главным образом во внешней зоне, а месторождения, предназначенные для подземной отработки, разведываются горно-буровыми системами с равномерным и детальным изучением всего объема минерализованных пород.

Заметное влияние на последовательность разведочных операций и густоту разведочной сети оказывают проектируемые технические средства отработки месторождений. Так, например, для применения горных комбайнов при отработке угольных и некоторых других пластовых месторождений необходимо, чтобы отметки кровли и почвы рудного пласта не испытывали бы резких изменений на коротких расстояниях. Мелкие складки или пострудные смещения пластов с амплитудами более 1 м должны выявляться в процессе разведочных работ, что возможно только при сплошном прослеживании пластов или при очень густой сети разведочных пересечений. Для оценки погрешностей линейной интерполяции кровли или почвы рудного пласта,

в зависимости от шага наблюдения ℓ Н.Ф. Алексеевым предложена формула

$$\delta_{max} = \pm\frac{1}{2}\sigma\left[1 - \rho(\ell)\right],$$

где δ – максимальная погрешность линейной интерполяции контакта залежи;

σ – среднеквадратичное отклонение отметок почвы (кровли) залежи;

$p(\ell)$ – автокорреляционная функция высотных отметок почвы (кровли) залежи.

Большое влияние на методику проведения разведочных работ оказывает применение геотехнологических методов отработки месторождений – подземной газификации углей, подземной выплавки серы, подземного выщелачивания урана, меди и др. полезных ископаемых.

Для выбора правильной методики разведки уже в подстадию поисково-оценочных работ необходимо выявить и оценить природные факторы, обеспечивающие возможность применения геотехнологических методов:

– свойства полезного ископаемого, способствующие переводу его в подвижное состояние (способность углей к газовыделению при неполном сгорании, свойство серы плавиться при температуре 119 °С, растворимость ряда соединений урана, меди, других металлов в слабоконцентрированных кислотах);

– свойства залежей, определяющие условия доставки рабочего агента к месту реакции и отвод продуктов (проницаемость вмещающих пород);

– свойства залежей, позволяющие искусственно изменить проницаемость пород (например, способность к трещинообразованию при подземных взрывах);

– свойства руд и вмещающих пород, определяющие их взаимодействие с рабочими агентами и непроизводительные утечки рабочих агентов (химическая активность вмещающих пород, наличие тектонических нарушений, нарушения сплошности водоупоров и др.).

Предварительная разведка проводится уже с учетом специфики геотехнологического метода добычи. В процессе предварительной разведки месторождений, предназначенных к разработке методом подземного выщелачивания, выясняются главные природные факторы, определяющие экономические показатели отработки месторождения: геологические и извлекаемые запасы полезного ископаемого, условия залегания, состав и строение рудных залежей и вмещающих пород, фильтрационные свойства рудовмещающей толщи и другие природные факторы.

В процессе детальной разведки уточняются полученные ранее сведения и выясняются второстепенные природные факторы, определяющие технические параметры эксплуатации. Детальная разведка должна обеспечить исходные данные для расчетов систем расположения нагнетательных и дренажных скважин. С этой целью по сгущенной разведочной сети уточняются сведения о запасах, проницаемости, динамической пористости рудных залежей и вмещающих пород, а также о факторах, обуславливающих изменение этих показателей в процессе отработки месторождения. В пределах типичных эталонных участков проводится натурное моделирование путем опытных откачек и закачек с использованием геофизических методов исследований коллекторских свойств.

В процессе эксплуатационных разведок уточняются запасы и геологическое строение эксплуатируемых участков и выявляются дополнительные сведения, способствующие планированию и оперативному управлению производством.

1.13.4. Особенности разведки, обусловленные исключительно высокой или весьма низкой ценностью полезного ископаемого

Исключительно высокая ценность некоторых видов минерального сырья связана с их редкой встречаемостью в природе, малыми размерами минеральных скоплений и весьма низкими их концентрациями в недрах. К их числу относятся алмазы, пьезооптические минералы, золото в некоторых золоторудных месторождениях, драгоценные и полудрагоценные камни. Место-

рождения этих видов минерального сырья характеризуются крайне невыдержанным гнездовым распределением полезных минералов или столь редкой и неравномерной их вкрапленностью во вмещающих породах, что обычные методы опробования не обеспечивают уверенных статистических данных для оценки средних содержаний. Поэтому опробование производится валовыми способами или в процессе проходки горных выработок с оценкой выхода полезного минерала на всю добытую массу вмещающих пород. Если содержание полезного минерала составляет стотысячные или миллионные весовые доли (граммы на тонну для золота или платины, караты для алмазов) появляется необходимость расчета минимальных весов проб, в которых с заданной вероятностью можно ожидать появление хотя бы одного кристалла полезного минерала.

Для получения уверенных результатов опробования разведка подобных месторождений осуществляется горными выработками. Исключение представляют только коренные месторождения алмазов, которые разведываются с помощью горнобуровых работ. При разведке оптических и драгоценных минералов горно-разведочные выработки стараются проходить по возможности без буровзрывных работ или с резким ограничением зарядов во избежание порчи крупных кристаллов.

Весьма низкой ценностью обладают широко распространенные полезные ископаемые (каменные строительные материалы, наполнители бетона, керамическое, стекольное и цементное сырье). Разведка этих месторождений производится ограниченным числом буровых скважин и по редкой разведочной сети. Как правило, промышленностью осваиваются только те месторождения, которые находятся в благоприятных географо-экономических условиях, в непосредственной близости от потребителей, могут разрабатываться открытым способом при коэффициенте вскрыши не более 1:1 и абсолютных мощностях вскрыши менее десяти метров.

В связи с низкой стоимостью единицы минерального сырья особое значение приобретают точное оконтуривание вскрышных пород, особенно на поздних стадиях разведки, по результатам которой проектируется и планируется развитие добычных

работ. При разведке нередко приходится сгущать сеть буровых скважин не для уточнения сведений по запасам полезного ископаемого, а для выяснения характера подошвы вскрышных пород, поверхности погребенного палеорельефа, оконтуривания карстовых размывов и полостей. Часто для этого используются геофизические методы (вертикальное электрозондирование, инженерно-сейсмическое профилирование и др.).

1.13.5. Особенности разведки жидких и газообразных полезных ископаемых

К числу жидких и газообразных полезных ископаемых относятся нефть, горючие газы и природные воды, условия формирования и проявления которых настолько своеобразны, что уже давно изучаются в самостоятельных научных дисциплинах. Ниже в сравнительном плане рассматриваются только некоторые принципиальные отличия методики их разведки от разведки месторождений твердых полезных ископаемых.

От месторождений твердых полезных ископаемых нефтегазоносные месторождения отличаются:

– способностью нефти и газа к передвижению в горных породах при изменении термодинамических условий;

– сложными формами залежей, зависящими от сочетания литолого-фациальных особенностей разреза, типа складчатых структур и проявления разрывной тектоники;

– различной нефте- и газонасыщенностью участков залежей, в зависимости от литологического состава, текстурных особенностей и физико-механических свойств коллекторов;

– зависимостью контуров нефте- и газоносности от динамики пластовых вод, наличия разрывных нарушений, от положения и количества скважин, пробуренных в контурах или вблизи залежей.

При наличии коллекторов, благоприятными структурами для формирования нефтяных и газовых месторождений в пределах нефтеносных областей являются антиклинальные складки, куполовидные поднятия и моноклинали, со стратиграфическими или фациально выклинивающимися нефтеносными толщами.

Разведке нефтяных и газовых месторождений предшествуют региональные геолого-геофизические работы, подготовка площадей к поисковому бурению геолого-геофизическими методами, структурное, опорное, параметрическое и поисковое бурение на нефть и газ. Из геофизических методов на этих стадиях исследований особенно успешно используются сейсморазведка, реже гравиметрические и электрометрические методы. Для изучения скважин широко применяются методы их комплексного каротажа.

В отличие от твердых полезных ископаемых разведка нефтяных и газовых месторождений осуществляется в одну стадию. Предварительная геолого-экономическая оценка выявленных месторождений проводится уже по результатам поисковых работ с подсчетом запасов нефти, газа, конденсата и других сопутствующих компонентов (гелия, серы и др.) по категориям C_1 и C_2. В процессе разведки производится подготовка месторождения к промышленному освоению, а запасы нефти и газа подсчитываются и оцениваются по категориям C_1 и В. Запасы категории А устанавливаются только по результатам опытно-эксплуатационных работ.

В числе балансовых запасов нефти и конденсата выделяются и учитываются извлекаемые запасы, т. е. запасы, которые могут быть извлечены при наиболее полном и рациональном использовании современной техники.

Разведка нефтяных и газовых месторождений проводится с помощью буровых скважин колонкового, роторного или турбинного бурения, которые располагаются по изометрической или прямоугольной сети (по разведочным профилям) в зависимости от ориентировки и размеров залежей, степени выдержанности нефтегазоносных пластов и сложности тектоники месторождения. Расстояния между скважинами при разведке крупных и выдержанных нефтесодержащих пластов для подсчета запасов по категории В измеряются первыми километрами, а для небольших и исключительно невыдержанных пластов уменьшаются до сотен метров.

По каждой разведочной скважине проводится комплекс геологических и промыслово-геофизических наблюдений, отби-

раются образцы пород и пробы нефти, газа, конденсата и нефтяных вод.

Запасы нефти и газа подсчитываются на структурных планах объемным методом раздельно для каждой изолированной залежи.

Объемный метод основан на определении объема продуктивного пласта в контурах нефтяной или газовой залежи. Общие запасы нефти Q_0 подсчитываются по формуле

$$Q_0 = F \cdot h \cdot m \cdot \beta_н \cdot \theta \cdot d,$$

где F– площадь залежи, м^2;

h – средняя эффективная мощность пласта, м;

m – коэффициент эффективной пористости (отношение объема пор к объему залежи), доли единицы;

β_H – коэффициент нефтенасыщенности пород (степень заполнения пор нефтью), доли единицы;

θ – пересчетный коэффициент, учитывающий изменение объема пластовой нефти при подъеме ее на поверхность;

d – удельная масса нефти.

Коэффициент m определяется опытным путем по образцам, полученным из скважин.

Коэффициент β_H зависит от гидростатического давления краевых вод и других факторов. Его величина колеблется от 0,5 до 0,8.

Для расчета извлекаемых запасов нефти $Q_и$ общие ее запасы умножаются на коэффициент нефтеотдачи:

$$Q_И = Q_О \, k_{И.}$$

Коэффициент $k_и$ зависит от способов эксплуатации, температуры и газового давления нефтяной залежи, физических свойств нефти и других факторов. Его величина может изменяться от 0,2 до 0,8.

При подсчете запасов свободного газа объемным методом коэффициент отдачи принимается равным единице. Общие запасы газа V зависят от площади залежи F, эффективной газонасыщенности мощности пласта h, коэффициента эффективной пористости m и величины пластового давления в залежи газа p на дату подсчета. В общую подсчетную формулу $V=Fhmp$ вводятся поправки за отклонение углеводородных газов от идеальных и за температуру.

Подземные воды используются в самых различных отраслях народного хозяйства: для питьевого и технического водоснабжения, в качестве сырья для извлечения ценных компонентов, для орошения сельскохозяйственных угодий и водопоя скота, для лечебных и других целей. В естественных условиях подземные воды находятся в непрерывном движении, в связи с чем их количество и качество изменяются во времени как под влиянием природных условий, так и в результате эксплуатации. Эта особенность подземных вод, а также способность частично или полностью восполняться в процессе эксплуатации, отличает их от всех других видов твердых и жидких полезных ископаемых. При оценке запасов подземных вод помимо их объема требуется знать расход естественного потока и во всех случаях – обеспеченность восполнения подземных вод, отбираемых при эксплуатации.

Объем гравитационной воды, содержащейся в порах и трещинах пород, называется вековыми, или статическими, запасами, а расход естественного подземного потока отождествляется с понятием динамических запасов подземных вод.

Количество (расход) подземных вод, которое может быть получено из водоносных горизонтов рациональными водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве вод, называется эксплуатационными запасами подземных вод. Эксплуатационные запасы выражаются в кубических метрах в сутки и подлежат оценке, подсчету и учету по результатам разведочных работ.

Требования к качеству подземных вод исключительно разнообразны. Они определяются: для вод питьевого назначения – соответствующими ГОСТами; для вод, используемых в промышленности и в сельском хозяйстве – водопотребляющими организациями; для вод лечебного назначения – органами здравоохранения. Требования к качеству вод, используемых для извлечения из них ценных компонентов и для розлива, определяются кондициями, утвержденными ГКЗ РК. Кроме требований к их качеству, одновременно разрабатываются требования к режиму (условиям эксплуатации) подземных вод.

Месторождениями подземных вод называются скопления подземных вод, отвечающих по количеству и качеству тому или иному назначению использования их в народном хозяйстве.

2. РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ И ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

2.1. Подземные рудники. Основные понятия

Горное предприятие – промышленное предприятие, находящееся на самостоятельном балансе и предназначенное для разработки месторождения полезного ископаемого, часто совмещаемое с его эксплуатационной разведкой и доразведкой в пределах горного отвода, а также переработкой добываемой руды.

Рудник – горное предприятие, производящее разработку месторождения в соответствии с горноотводным актом и состоящее из одной или нескольких производственных единиц – шахт (штолен), карьеров, поверхностных цехов. Рудник имеет единое административно-техническое управление.

Шахта – производственная единица, входящая в состав горного предприятия или рудника, которая выполняет подземную добычу полезного ископаемого в пределах отведенной для неё части месторождения.

Проект горного предприятия – это комплекс технических документов, содержащий схемы, расчеты, чертежи (иногда макеты), схемы и пояснительные записки с принципиальными обоснованиями принимаемых проектных решений. Проекты разрабатываются на новое строительство горного предприятия, рудника, шахты или на их расширение, реконструкцию или техническое перевооружение.

Земельный отвод – земельный участок, предоставленный недропользователям для разработки месторождения полезных ископаемых и строительства поверхностных объектов. Земельный отвод оформляется государственным актом на право пользования землей, который выдается недропользователям областным исполнительным органом.

Горный отвод – часть земных недр, предоставленная недропользователю для промышленной разработки содержащихся в ней залежей полезных ископаемых.

Управление производством на промышленном предприятии – это научно обоснованное планирование с определением зада-

ний на конкретный период времени, контроль за выполнением и регулирование производства с целью его поддержания в заданных параметрах.

Добыча – работы, связанные с извлечением полезных ископаемых из недр, находящихся в государственной собственности.

Месторождение – часть недр, содержащая скопление полезных ископаемых.

Недропользователь – гражданин или юридическое лицо, государство или международная организация, получившие право осуществлять операции по недропользованию.

Недра – часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя и дна водоемов, простирающаяся до глубин, доступных для проведения операций по недропользованию.

Разведка – работы, связанные с поиском месторождений полезных ископаемых и их оценкой [4].

2.1.1. Данные о месторождении и условия его промышленного освоения

2.1.1.1. Запасы руд и металлов по месторождению

Экономическая целесообразность освоения месторождений определяется по результатам геолого-разведочных работ в зависимости от сложности геологического строения, вещественного состава руд, затрат средств на промышленное освоение месторождений.

Процесс освоения месторождения разделяется на три основных этапа:

- детальная разведка, вскрытие месторождения;
- промышленная разведка, подготовка рабочего проекта и строительство объектов;
- эксплуатационная разведка, разработка месторождения.

При детальной разведке месторождений детализируются характеристики до степени, дозволяющей выбрать однозначные проектные решения по системам разработки, проектированию горно-капитальных работ, размещению объектов добычи и переработки руды, зданий и сооружений горно-добывающего

предприятия. В результате детальной разведки производится подсчет запасов, обеспечивающих работу проектируемого предприятия. Запасы по месторождению являются основанием для составления проекта строительства горного предприятия после их утверждения Государственной комиссией по запасам Республики Казахстан (ГКЗ РК).

Промышленная разработка и подготовка рабочего проектирования производится на вскрытых частях месторождения. Характеристики месторождения детализируются до степени, обеспечивающей получение исходных данных для размещения горно-нарезных работ, определения способов отбойки и извлечения отбитой руды, определения затрат на эксплуатационные работы.

Эксплуатационная разведка завершает процесс изучения месторождения. При разработке месторождения находятся окончательные характеристики полезного ископаемого из отбойной единицы.

2.1.1.2. Категории запасов и их учет

Запасы твердых полезных ископаемых по степени разведанности подразделяются на категории А, В, C_1 и C_2.

Прогнозные ресурсы по степени их обоснованности подразделяются на категории P_1, P_2, P_3.

Требования к характеристике запасов и прогнозных ресурсов приведены в «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».

2.1.1.3. Группы месторождений по сложности геологического строения

В зависимости от формы все геологические тела разделяются на простые – пластообразные залежи (1), пласты (2) и сложные – жилы (3), штоки (4), линзы (5) и др. (рис. 2.1).

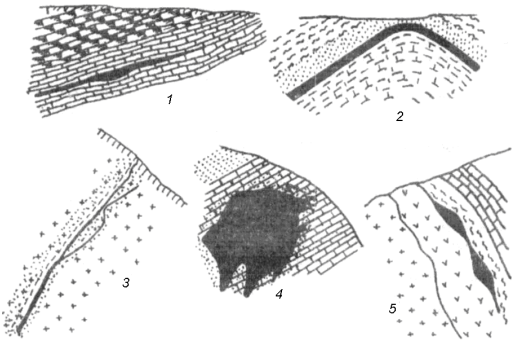


Рис. 2.1. Формы геологических тел

Пластом называется геологическое тело, сложенное однородной осадочной породой, ограниченное двумя более или менее параллельными поверхностями, имеющее на всем протяжении примерно одинаковую толщину и занимающее значительную площадь. Пласты горных пород могут прослеживаться по простиранию и падению на сотни и тысячи метров; мощность их (толщина) изменяется от долей метра до десятков метров и более.

Пластообразной залежью называют слой горной породы, имеющий в отличие от пласта ограниченные размеры.

Жилой залежью называется геологическое тело, образовавшееся в результате заполнения трещинной полости жильной породой или рудой либо возникшее в процессе замещения горных пород вдоль трещин новыми минеральными веществами. В жилах встречаются многие полезные ископаемые. Жилы бывают простые и сложные. Простые жилы имеют четко выраженные плоскости ограничения с боковыми породами, а у сложных жил они неровные, со многими ответвлениями.

Штоком называют геологическое тело неправильной формы и значительных размеров (сотни и тысячи кубических метров).

Линзой или линзообразной залежью называется залежь руды или горной породы различных размеров, приближающаяся по форме к линзе.

Пространственное положение в земной коре, занимаемое горными породами, называется залеганием горных пород. Зале-

гание характеризуется простиранием и падением, а также положением данных пород по отношению к окружающим их горным породам (рис. 2.2).

Простирание – это направление линии пересечения пласта или жилы с горизонтальной плоскостью (см. рис. 2.2). Линия пересечения пласта А-Б с горизонтальной плоскостью называется линией простирания. Направление простирания пород называется углом, который составляет линия простирания с меридианом.

Падение горных пород – это их наклон к горизонтальной плоскости. Линия А-Г (см. рис. 2.2), лежащая в плоскости пласта (жилы) перпендикулярно линии простирания А-Б, называется линией падения. Величина падения (наклона) пород определяется углом падения, который составляет линия падения с горизонтальной плоскостью. Элементы залегания горных пород измеряют горным компасом.

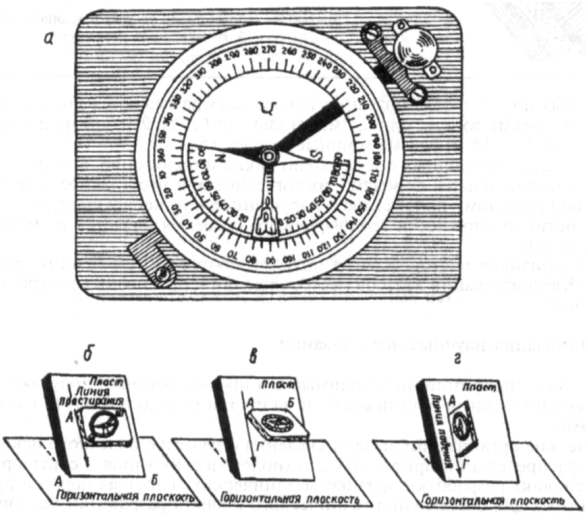


Рис. 2.2. Определение элементов залегания горных пород
а – горный компас; б – определение угла простирания; в-г – определение утла падения

В результате горно-образовательных процессов в горных породах могут быть образованы складки – синклинали и антиклинали (рис. 2.3).

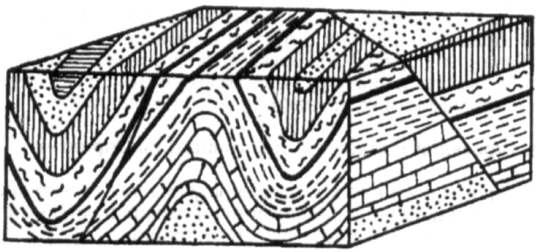


Рис. 2.3. Складчатое залегание

В зависимости от угла наклона горные породы разделяются на (рис. 2.4):

а) пологие и пологопадающие, с углами падения от нуля до 25°;

б) наклонные – с углами от 25 до 45°;

в) крутые и крутопадающие – с углами от 45 до 90°.

Породы, которые прилегают к пласту или к полезному ископаемому, называют боковыми, вмещающими; породы, залегающие ниже полезного ископаемого, называют почвой или лежачим боком, а залегающие на полезном ископаемом – кровлей или висячим боком (у наклонных пластов).

Кратчайшее расстояние между кровлей и почвой слоя породы называется мощностью пласта или жилы.

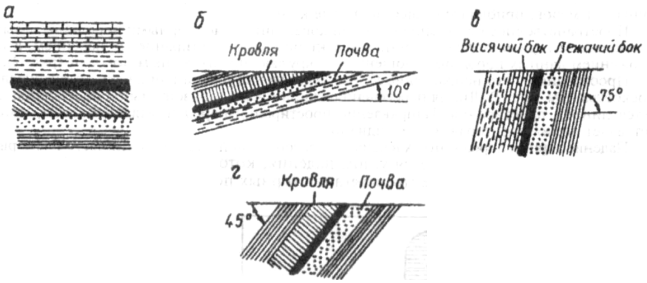


Рис. 2.4. Положение горных пород по углу наклона:
а – горизонтальное; б, г – наклонное; в – крутое

Слои горных пород и тела полезных ископаемых разделяются по мощности на следующие пять типов: весьма тонкие – до 0,7 м; тонкие – от 0,7 до 2 м; средней мощности – от 2 до 5 м; мощные – от 5 до 15 м; весьма мощные – более 15 м.

В понятие залегание горных пород входит также и положение, которое они занимают по отношению к подстилающим породам – их согласное или несогласное залегание, и по отношению к первоначальному положению – нарушенное или ненарушенное.

Характеристикой сложности геологического строения является изменчивость его подсчетных параметров.

По этому признаку месторождения подразделяются на три группы, описание которых приведено в «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».

2.1.1.4. Организация научных исследований

Данные о месторождении, необходимые для проектирования, получают в результате исследований геологическими организациями на стадии разведки и научно-исследовательскими институтами.

Геологические организации выдают сведения о качестве полезного ископаемого, пространственном распределении природных и технологических типов и сортов руд, о горно-геологических условиях разработки, физико-механических свойствах пород и руд и других данных, необходимых для составления технического проекта разработки месторождения.

Технологические свойства минерального сырья изучаются на технологических пробах в полупромышленных масштабах, позволяющих разрабатывать промышленную схему переработки сырья с учетом рентабельности извлечения компонентов, сопутствующих основному полезному ископаемому.

Природные факторы, физико-механические свойства пород и руд, и в т. ч. величина притоков воды в горные выработки и источники водоснабжения горного предприятия, определяющие условия ведения эксплуатационных работ и строительства руд-

ника, выявляются с детальностью, обеспечивающей проектирование добычи руды. Научно-исследовательские организации Министерств (ведомств) выдают сведения о составе пород, пересекаемых стволами; тектонических нарушениях с определением плоскостей скольжения на контактах слабых и крепких пород при крутом залегании (для выбора способа проходки в виде крепления стволов); об углах сдвижения вмещающих пород под влиянием разработок (для обоснованного построения предохранительных целиков); о горном давлении, горных ударах и водопритоках в зависимости от выбранного порядка отработки этажей, применяемых систем разработки и физико-механических свойств пород и руд (для разработки мер безопасности ведения работ) и другие данные в зависимости от специфики месторождения.

2.1.1.5. Принятие решения о проектировании и строительстве горного предприятия

Проектирование и строительство промышленного комплекса разрешается только после получения заключения уполномоченных органов по использованию и охране недр об отсутствии полезных ископаемых в недрах под участком предстоящей застройки.

Решение о проектировании и строительстве новых, реконструкции и техническом перевооружении действующих горных предприятий принимается недропользователем. При проектировании предприятий, зданий и сооружений производственного назначения должны учитываться решения, принятые в схемах и проектах районной планировки, схемах генеральных планов групп предприятий с общими объектами (промышленных узлов) и проектах планировки и застройки городов и других населенных пунктов.

Проектирование объектов жилищно-гражданского назначения осуществляется на основе утвержденных в установленном порядке схем и проектов районной планировки, увязанных со схемами развития и размещения отраслей промышленности,

проектов планировки и застройки городов и других населенных пунктов, проектов детальной планировки.

2.1.1.6. Горные выработки

Горные выработки различают: 1) по назначению; 2) по углам наклона и 3) по расположению по отношению к поверхностям земли.

1 По назначению выработки подразделяются на две группы: разведочные, пройденные в целях геологических поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, и эксплуатационные, предназначенные для выемки (добычи) полезных ископаемых. Иногда это разделение является условным, так как в некоторых случаях выемка полезного ископаемого частично или даже полностью осуществляется непосредственно в процессе проведения разведочных выработок.

2 По углам наклона выработки подразделяются на вертикальные, наклонные и горизонтальные. К вертикальным и наклонным относятся стволы шахт, шурфы и буровые скважины; к горизонтальным – штреки, квершлаги, штольни, рассечки; к наклонным – уклоны, бремсберги, восстающие.

3 По отношению к поверхности земли разведочные и эксплуатационные выработки разделяются на открытые (или поверхностные) и подземные.

Открытые выработки, как расположенные непосредственно на земной поверхности, имеют замкнутый контур поперечного сечения. К ним относятся копуши, канавы и карьеры.

Копушей называется разведочная выработка небольшого поперечного сечения и малой глубины. Копуши проходят в основном в аллювиальных отложениях с целью взятия образцов пород при металлометрических съемках и поисках полезных ископаемых.

Разведочной канавой называют открытую горизонтальную или наклонную горную выработку, проходимую с целью поисков или разведки выходов полезных ископаемых на поверхность земли при небольшой мощности наносов, перекрывающие ко-

ренные породы. Канавы, длина которых превышает 50 м, называются магистральными.

Магистральные канавы могут быть сплошными и пунктирными. Пунктирными называют канавы, проводимые вкрест простирания пород с оставлением в промежутках целиков. Длина каждого "пунктира" канавы и целиков определяется в каждом конкретном случае.

Подземные горные выработки могут иметь непосредственный выход на земную поверхность, но проводятся в толще земной коры. По всему контуру поперечного сечения подземные горные выработки ограничены горными породами.

К подземным горно-разведочным выработкам относятся разведочные шурфы, стволы шахт, квершлаги, штреки и восстающие.

Разведочными шурфами называют вертикальные и наклонные горные выработки небольшого прямоугольного сечения (1,25; 1,5; 2 и 4 $м^2$) глубиной до 5–10 м, реже 20–30 м. Шурфы могут быть вертикальными и наклонными.

Шахтным стволом называют вертикальную или наклонную подземную горную выработку, имеющую непосредственный выход на земную поверхность и предназначенную для обслуживания подземных работ, проводимых с целью разведки или разработки месторождений полезных ископаемых.

Слепым шахтным стволом называется вертикальная или наклонная подземная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность, проводимая с целью разведки или добычи полезных ископаемых. Таким образом, слепой шахтный ствол отличается от обычного шахтного ствола тем, что устье его выходит не на земную поверхность, а в подземную горизонтальную горную выработку.

Штольня – это горизонтальная подземная выработка, имеющая непосредственный выход на земную поверхность, проводимая в склоне горы (ущелья) с целью разведки или разработки месторождений полезных ископаемых. Штольни, как и другие горизонтальные выработки, проводят обычно с небольшим подъемом для обеспечения стока воды и облегчения откатки груженых вагонеток.

Квершлаг – это горизонтальная подземная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность и проводимая по пустым породам вкрест простирания или под некоторым углом к простиранию пород или рудных тел.

Штреком называется подземная горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность. Штрек проводится в целях разведки или разработки месторождения по простиранию полезного ископаемого; при горизонтальном залегании рудного тела штреки задают в любом направлении. Штреки, проводимые не по полезному ископаемому, а по простиранию пустых пород называют полевыми штреками.

Рассечкой называется горизонтальная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на дневную поверхность, проводимая из горной выработки (шурфа, штольни или штрека) для поисков и разведки полезною ископаемого.

Восстающим называют подземную горную выработку, не имеющую непосредственного выхода на поверхность, проводимую с нижнего горизонта на верхний с целью разведки полезного ископаемого или для вентиляции, спуска руды или породы, доставки материалов и других вспомогательных целей.

Гезенк – это подземная горная выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность, проведенная с верхнего горизонта на нижний с целью разведки полезного ископаемого, передвижения людей, доставки материалов, вентиляции и других целей.

Помимо перечисленных подземных выработок различают еще так называемые камерные выработки, поперечные размеры которых незначительно отличаются от их длины. Камерные горные выработки в большинстве случаев являются вспомогательными и служат для размещения под землей того или иного горного оборудования – насосов, лебедок, буровых станков; они используются также в качестве подземных складов, ремонтных мастерских и т. п. Формы и размеры этих выработок разнообразны.

В особую группу выделяют так называемые очистные выработки, образующиеся в результате выемки полезного ископаемого при его добычи. Формы и размеры таких выработок

различны и зависят от форм залегания полезного ископаемого и принятых способов его выемки.

2.1.2. Выбор площади (трассы) для строительства, инженерные изыскания и проектирование

Ответственным за организацию выбора площадки (трассы) для строительства предприятия, здания и сооружения, подготовку необходимых материалов и полноту согласований намеченных проектных решений является заказчик проекта.

Выбор площадки (трассы) для строительства осуществляется только по объектам, включенным в утвержденные титульные списки проектно-изыскательских работ, в районе или пункте, определенных в материалах и расчетах, выполненных в схеме развития и размещения соответствующей отрасли и по согласованию с областными исполнительными органами.

Площадка выбирается в соответствии с земельным, водным и другими законодательствами Республики Казахстан, а также с учетом проектов районной планировки и, в необходимых случаях, проектов планировки городов (поселков); трасса, кроме того, выбирается с учетом региональных схем развития соответствующих коммуникаций и сетей (железных и автомобильных дорог, нефте- и газопроводов, энергосистем, сетей связи и др.).

Площадка (трасса) для строительства предприятия, здания и сооружения, размеры необходимого земельного участка и намечаемые мероприятия по обеспечению охраны и воспроизводства окружающей среды и пожаро-взрывоопасности должны отвечать требованиям соответствующих глав СНиП, других нормативных актов и инструкций.

Для выбора площадки (трассы) под строительство объектов (за исключением тех, расширение или реконструкция которых не связаны с освоением дополнительных территорий) заказчиком создается комиссия из представителей: заказчика проекта; генерального проектировщика – проектной организации; субподрядных проектных и изыскательских организаций (в необходимых случаях); органов местной власти; строительной организации; местных органов государственного надзора; штабов во-

енных округов и штабов гражданской обороны и других заинтересованных организаций.

Комиссия составляет акт о выборе площадки (трассы) для строительства, который оформляется подписями всех ее членов.

Акт о выборе площадки (трассы) для строительства утверждается заказчиком в установленном законодательством порядке и является документом о согласовании принятых решений и условий на присоединение предприятий, зданий, сооружений к источникам снабжения, инженерным сетям и коммуникациям (срок действия согласований должен быть нормативной продолжительности проектирования и строительства объектов), а также документом для намечаемых мероприятий по охране окружающей среды.

Задание на проектирование предприятия, здания и сооружения составляется заказчиком проекта с привлечением генерального проектировщика на основе материалов и расчетов, выполненных для данного объекта в составе схемы развития и размещения соответствующих отраслей экономического хозяйствования и отрасли промышленности. В задании на разработку проекта (рабочего проекта) в соответствующих случаях должно предусматриваться выделение в проектно-сметной документации пусковых комплексов. При проектировании объекта с продолжительностью строительства более двух лет без разбивки на очереди к заданию на проектирование прикладывается соответствующее разрешение.

Задания на проектирование по всем объектам утверждаются в порядке, установленном для утверждения проектно-сметной документации.

Инженерные изыскания. Акт выбора площадок для строительства и ситуационный план (схема) предприятия служат генеральному проектировщику и заказчику основанием для заказа на выполнение изысканий: инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологичес-ких, а также на предмет источников водоснабжения на базе подземных и поверхностных вод.

Инженерно-геодезические изыскания должны обеспечивать получение крупномасштабных топографических планов и дру-

гих топографо-геодезических материалов, необходимых для разработки генерального плана и проектирования зданий и сооружений, включая коммуникации.

2.1.3. Земельный и горный отводы. Охрана недр

Государственный акт на право пользования землей. Лицензия на добычу, выдаваемая Правительством, является безусловным основанием для предоставления земельного участка. Предоставление права землепользования осуществляется Уполномоченным государственным органом по землепользованию (местный исполнительный орган).

Для получения земельного отвода землепользователь представляет в Уполномоченный орган по землепользованию следующие документы: Лицензию на добычу с прилагаемым Горным отводом, утвержденный в установленном порядке Акт выбора площади под строительство горного предприятия (с обоснованием потребной площади земли, размеров убытков и потерь сельскохозяйственного производства от изъятия земли).

Проект отвода земельного участка (земельный отвод) для строительства горного предприятия подготавливается проектной организацией одновременно с разработкой технического проекта горнодобывающего предприятия в увязке с проектом горного отвода.

Предоставление права землепользования государственным юридическим лицом производится на основании акта государственного органа о предоставлении земельного участка в постоянное или временное землепользование.

Предоставление права постоянного землепользования негосударственным землепользователям производится на основании либо акта о предоставлении земельного участка в постоянное землепользование (в случае предоставления указанного права без оплаты), либо договора купли-продажи права постоянного землепользования (при продаже данного права).

Предоставление государственным землепользователям права временного землепользования производится на основании

договора аренды земельного участка или договора временного безвозмездного землепользования.

Приступать к пользованию предоставленным земельным участком до установления соответствующими землеустроительными органами границ участка в натуре (на местности) и выдачи государственного акта на пользование землей запрещается.

Порядок оформления временного пользования землей, например, на опытно-промышленную разработку, устанавливается законодательством Республики Казахстан.

Горноотводный акт. Территориальная сфера деятельности Лицензии определяется Контрактной территорией (ст. 35 Указа «О недрах и недропользовании»).

Контрактная территория для добычи устанавливается горным отводом (п.25 «Положение о лицензировании ...»), который является приложением к Лицензии, выданной Правительством Республики Казахстан.

Границы горного отвода по площади и глубине на стадии лицензирования определяются границами месторождения, которые устанавливаются ГКЗ Республики Казахстан при апробации запасов месторождения.

При составлении технического проекта разработки месторождения границы горного отвода должны быть уточнены исходя из контура отрабатываемых запасов с учетом зон обрушения, безопасных расстояний от места производства взрывных работ. При согласовании техпроекта с органами Гостехнадзора, последние выдают горноотводной акт.

Охрана недр. Основными требованиями в области охраны недр являются: обеспечение полного и комплексного геологического изучения недр; соблюдение установленного порядка предоставления недр в пользование и недопущение самостоятельного пользования недрами; наиболее полное извлечение из недр и рациональное использование запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов; недопущение вредного влияния работ, связанных с пользованием недрами, на сохранность запасов полезных ископаемых и промышленную ценность месторождений или осложняющего их разработку; предупреждение необоснованной

или самостоятельной застройки площадей залегания полезных ископаемых и соблюдение установленного порядка использования этих площадей для других целей; предотвращение вредного влияния работ, связанных с пользованием недрами, на сохранность эксплуатируемых, находящихся на консервации горных выработок и буровых скважин, а также подземных сооружений; предотвращение загрязнения недр при подземном хранении нефти, газа и иных веществ и материалов, захоронении вредных веществ и отходов производства, сбросе сточных вод.

Основу охраны недр составляет полнота и достоверность геологического, экологического и технологического изучения месторождения, а также достоверный учет извлекаемых и оставляемых в недрах запасов, продуктов переработки минерального сырья и отходов минерального сырья и отходов производства при разработке месторождения.

В случае нарушения этих требований пользование недрами может быть ограничено, приостановлено или запрещено Лицензирующим органом в порядке, установленном законодательством Республики Казахстан.

В законе также приведен ряд других требований и, в частности, об охране участков недр, представляющих особую научную или культурную ценность, при обнаружении которых пользователи недр обязаны приостановить работы на соответствующих участках и сообщить об этом Лицензионному органу.

2.1.4. Порядок ликвидации и консервации предприятия по добыче и переработке полезных ископаемых

2.1.4.1. Общие требования

Ликвидацией предприятия или его части является полное и окончательное прекращение работ, связанных с добычей полезных ископаемых.

Ликвидация предприятия или его части допускается только после полной отработки или компенсации стоимости оставшихся в недрах балансовых запасов полезных ископаемых и при условии списания их в установленном порядке, а также в случае

возникновения угрозы затопления или разрушения горных выработок, предотвращение которых технически невозможно или экономически нецелесообразно, отсутствии надобности в использовании недр в иных целях.

Запрещается ликвидация предприятия или его части, на котором при разработке месторождения полезных ископаемых, по согласованию с Министерством строительства, жилья и застройки территорий Республики Казахстан и Министерством энергетики и природных ресурсов Республики Казахстан, осуществлена целевая подготовка подземных горных выработок, обеспечивающая их долговременную сохранность и возможность дальнейшего эффективного использования.

Ликвидация предприятия или его части, имеющего подземные горные выработки, учтенные как перспективные для размещения объектов, допускается в исключительных случаях по согласованию с Министерством энергетики и природных ресурсов РК (к предприятиям по добыче полезных ископаемых относятся шахты, рудники, прииски, промыслы, разведочные выработки, дражные полигоны, объекты старательской добычи и др. В дальнейшем именуются «предприятия».).

Консервацией предприятия или его части является временное или бессрочное прекращение работ, связанных с добычей полезных ископаемых. При этом все основные сооружения, горные выработки и буровые скважины приводятся в состояние, пригодное для их эксплуатации при возникновении необходимости или экономической целесообразности доработки оставшихся запасов полезных ископаемых или использовании в новых целях. Состояние, учтенных Министерством строительства, жилья и застройки территорий, горных выработок, перспективных для размещения объектов, не связанных с добычей полезных ископаемых, должно обеспечивать их долговременную сохранность.

Консервация предприятия или ее части допускается в целях временной невостребованности или нецелесообразности дальнейшей разработки месторождения или отдельных его участков по технико-экономическим, горнотехническим и другим причинам.

Ликвидация, консервация нефтяных, газовых, водных и других скважин осуществляется в установленном порядке по специальному Положению, согласованному с Министерством энергетики и природных ресурсов РК.

Ликвидация и консервация предприятия по добыче полезных ископаемых и пользованию недрами в иных целях осуществляется пользователем недр по специальному проекту, согласованному с Министерством энергетики и природных ресурсов. Министерством экологии и биоресурсов и Министерством здравоохранения Республики Казахстан.

По проектам на консервацию выработок, учтенных как перспективные для размещения объектов экономического хозяйствования, необходимо дополнительное заключение Министерства энергетики и природных ресурсов РК.

В случае, когда намечается прекращение разработок месторождения полезного ископаемого и определена организация (предприятие), заинтересованная в дальнейшем использовании подземных горных выработок, проект их консервации не разрабатывается. Мероприятия по сохранению горных выработок согласовываются с Министерством энергетики и природных ресурсов и предприятием, заинтересованным в дальнейшем использовании подземных горных выработок.

Ликвидация или консервация горных выработок и буровых скважин, пройденных в прибрежной зоне морей, на акватории внутренних водоемов, рассолопромыслов, осуществляется по специальным отраслевым инструкциям, согласованным с Министерством энергетики и природных ресурсов РК.

Запрещается после ликвидации или консервации предприятия использование горных выработок и буровых скважин в каких бы то ни было целях без согласования с территориальными управлениями охраны и использования недр и Министерством энергетики и природных ресурсов.

Возобновление горных работ на предприятиях, находящихся на консервации, производится по проектам, утвержденным в установленном порядке, по согласованию с территориальными управлениями использования и охраны недр Министерства

энергетики и природных ресурсов и органов Гостехнадзора Республики Казахстан.

При ликвидации или консервации предприятий по добыче полезных ископаемых, пользователь недр обязан сдать на хранение по акту в органы Министерства энергетики и природных ресурсов Республики Казахстан геологическую и маркшейдерскую документацию, подготовленную на момент завершения работ, которая должна обязательно содержать:

- копии основной горно-графической документации (вертикальных проекций разрезов), топографических планов, а также геологической карты месторождения полезных ископаемых. Указанная документация должна полностью отражать состояние запасов и разведанности месторождения полезных ископаемых, состояние горных выработок, рельеф и ситуацию земной поверхности.

При ликвидации или консервации предприятий по добыче драгоценных металлов, драгоценных и полудрагоценных камней, кварцсамоцветного и пьезооптического сырья должны осуществляться меры, исключающие доступ посторонних лиц к ценным минеральным образцам.

2.1.4.2. Порядок получения разрешения на ликвидацию или консервацию предприятия по добыче полезного ископаемого

Для получения разрешения на полную или частичную ликвидацию или консервацию предприятия, организация должна направить письменное заявление в Министерство энергетики и природных ресурсов Республики Казахстан или его территориальным управлениям охраны и использования недр о необходимости намечаемой ликвидации или консервации предприятия. К заявлению прикладываются:

а) технико-экономический расчет, обосновывающий необходимость ликвидации или консервации предприятия;

б) табличные материалы:

- о запасах полезных ископаемых в предохранительных и других целиках с указанием состояния этих запасов;

- о наличии попутно добытых, временно не использованных полезных ископаемых, а также отходов производства (в хвостохранилищах, отвалах), содержащих полезные компоненты и пригодных для целей производства строительных материалов или доизвлечения полезных ископаемых;

в) справка о приведении земельных участков, нарушенных горными выработками, в состояние, пригодное для использования их в экономическом хозяйствовании;

г) копии топографических планов земной поверхности, погоризонтных планов, а также геологическая карта месторождения полезных ископаемых.

Одновременно с возбуждением вопроса о необходимости ликвидации или консервации предприятие обязано уведомить об этом письменно местную администрацию, смежное предприятие и другие заинтересованные органы, которые в течение 15 дней после получения уведомления сообщают свои претензии.

Органы Министерства энергетики и природных ресурсов в 30-дневный срок после получения материалов должны рассмотреть их и выдать заключение в письменной форме.

При положительном заключении о намеченной ликвидации или консервации предприятие разрабатывает проект ликвидации или консервации предприятия.

После согласования и утверждения в установленном порядке проекта ликвидации или консервации предприятие издает приказ о создании ликвидационной комиссии и устанавливает сроки остановки работ по добыче полезных ископаемых и окончания работ по ликвидации или консервации предприятия.

2.1.4.3. Содержание проекта ликвидации и консервации предприятия по добыче полезных ископаемых

Проект ликвидации и консервации предприятия должен состоять из:

- пояснительной записки;
- геологической и маркшейдерской графической документации, полностью отражающей фактическое состояние.

В пояснительной записке должны быть отражены работы по соответствующей подготовке и непосредственной ликвидации или консервации предприятия, в т. ч.:

- порядок и график отработки оставшихся балансовых и экономически целесообразных для добычи забалансовых запасов, в т. ч. и запасов, находящихся в целиках;

- решение вопросов о целесообразности повторной разработки месторождения, а также об использовании в экономическом хозяйствовании заскладированных некондиционных полезных ископаемых и отходов производства и мероприятия по обеспечению их сохранности;

- меры по обеспечению безопасности населения, охраны недр и окружающей природной среды, зданий и сооружений, в т. ч. меры по предотвращению прорывов воды и газов, распространению подземных пожаров и т. п.;

- рассмотрение вопроса об использовании горных выработок и буровых скважин для иных экономических целей;

- способы ликвидации или консервации предприятия или его части;

- мероприятия по приведению земной поверхности и водных объектов в состояние, пригодное для дальнейшего использования в экономическом хозяйствовании;

- другие проекты и решения, связанные со спецификой месторождения, схемами и системами разработки;

- безопасность работ по ликвидации или консервации предприятия, а также при обслуживании его объектов и смежных с ними предприятий, на которых распространяется влияние ликвидации или консервации предприятия.

Акт утверждается Министерством энергетики и природных ресурсов Республики Казахстан. Акт с необходимыми приложениями направляется в территориальные управления охраны и использования недр, главе местной администрации и заявителю или его вышестоящей организации.

Контроль за соблюдением требований законодательства Республики Казахстан о недропользовании при ликвидации или консервации предприятий по добыче полезных ископаемых, а также за их передачей заинтересованным организациям, осуще-

ствляют территориальные управления охраны и использования недр Министерства энергетики и природных ресурсов, главы местных администраций.

2.1.5. Вскрытие и подготовка месторождений полезных ископаемых

Рудным полем называется месторождение или его часть, отводимая для разработки одному руднику.

Вскрытием месторождения называется проведение капитальных выработок, открывающих доступ с дневной поверхности к месторождению, обеспечивающих подготовку шахтного поля.

Под способом вскрытия понимается сочетание основных и вспомогательных вскрывающих выработок и их расположение относительно месторождения.

Схемой вскрытия месторождения называется графическое изображение способа вскрытия.

Подготовкой шахтного поля называют проведение подготовительных и нарезных выработок, обеспечивающих условия для ведения очистной выемки на ряде выемочных участков.

2.1.5.1. Способы вскрытия шахтного поля и раскройка месторождения на ряд шахтных полей

Различают основные и вспомогательные вскрывающие выработки. К основным относятся все капитальные выработки, проводимые с поверхности земли: вертикальные стволы, наклонные стволы и штольни. К вспомогательным вскрывающим выработкам относятся все капитальные выработки, не имеющие непосредственного выхода на дневную поверхность и служащие для вскрытия эксплуатационных горизонтов. К этим выработкам относятся слепые наклонные, слепые вертикальные стволы, квершлаги, рудоспуски и штреки.

В практике строительства рудников стволы проводятся либо на полную глубину, либо до определенного горизонта с по-

следующей их углубкой. Такой порядок вскрытия шахтного поля называется поэтапным.

При вскрытии месторождений применяются различные способы.

Шахтные поля имеют технические границы. При негоризонтальном залегании рудного тела различают: верхнюю границу шахтного поля или границу по восстанию, нижнюю границу или границу по падению, границы шахтного поля по простиранию или боковые границы. Эти границы могут быть естественными по линии геологических нарушений и искусственными, устанавливаемыми на основе технико-экономических расчетов.

Часть шахтного поля, расположенную по одну сторону от шахтного ствола, называется крылом. Шахтные поля бывают однокрылыми и двукрылыми. Крылья шахтных полей обозначают названием частей света, например, южное и северное, восточное и западное крыло шахтного поля.

Часть шахтного поля, расположенную выше места пересечения рудного тела шахтным стволом, называют шахтным полем по восстанию или бремсберговым полем, если ее обслуживают бремсберги.

Часть шахтного поля, расположенную ниже места пересечения рудного тела шахтным стволом, называют шахтным полем по падению или уклонным полем, если ее обслуживают уклоны.

По числу транспортных горизонтов способы вскрытия шахтных полей делятся на одногоризонтные и многогоризонтные.

При одногоризонтных способах вскрытия шахтного поля разрабатывают один транспортный горизонт, срок службы которого равен сроку существования рудника. Многогоризонтные способы вскрытия предусматривают несколько транспортных горизонтов.

Шахтные поля крупных рудников иногда делят на блоки, каждый из которых обслуживается самостоятельным вентиляционным и вспомогательным стволами. Блок имеет обособленное проветривание.

При разработке рудных месторождений размеры шахтных полей бывают различными, чаще длина шахтных полей составляет 500 м и редко достигает 6000 м.

2.1.5.2. Классификация способов вскрытия месторождений

Широкое распространение получила классификация способов вскрытия по сочетанию основных выработок со вспомогательными. По этому принципу различают простые и комбинированные способы вскрытия.

К простым относятся способы, при которых независимо от шага вскрытия выдача горной массы из любого горизонта на дневную поверхность осуществляется по основной вскрывающей выработке.

При комбинированных способах вскрытие шахтного поля осуществляется проведением основных и вспомогательных вскрывающих выработок, по которым совершается ступенчатый подъем горной массы на дневную поверхность, например, скиповой и слепой вертикальный стволы, скиповой и слепой наклонный стволы и др.

При разработке месторождений на очень большой глубине этот способ вскрытия является единственным.

Ниже приводится классификация способов вскрытия месторождений, предложенная академиком АН КазССР, профессором, доктором технических наук Байконуровым О.А. с некоторым дополнением.

1. Простые способы вскрытия

1) Вскрытие штольней по месторождению, вкрест простирания со стороны лежачего или висячего боков месторождения;

2) Вскрытие вертикальным шахтным стволом по месторождению; по лежачему или висячему боку месторождения с лажными или групповыми квершлагами, пересекающими месторождение, а также по флангу месторождения;

3) Вскрытие наклонным шахтным стволом по месторождению; по лежачему или висячему боку месторождения; пересекающим месторождение и по флангу месторождения;

4) Вскрытие месторождения спиральной выработкой;

5) Вскрытие месторождения наклонным ломаным стволом;

6) Вскрытие месторождения каскадным способом.

2. Комбинированные способы вскрытия

1) Вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в вертикальный слепой ствол;

2) Вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонный слепой ствол;

3) Вертикальный шахтный ствол с поверхности с переходом в капитальные бремсберги и уклоны;

4) То же с квершлагом (только для свиты рудных тел);

5) То же с капитальным рудоспуском для верхних залежей (только для свиты наклонных рудных тел);

6) Наклонный шахтный ствол с поверхности с переходом в наклонный слепой ствол;

7) Штольня с переходом в вертикальный слепой ствол;

8) Штольня с переходом в наклонный слепой ствол.

2.1.5.3. Расположение вертикальных стволов в шахтном поле

В основу разработки схем размещения стволов в шахтном поле положено местонахождения вентиляционных стволов относительно главных стволов. По этому принципу различают следующие схемы расположения стволов в шахтном поле:

1. Центральное;
2. Центрально-отнесенное;
3. Фланговое или диагональное;
4. Секционное;
5. Комбинированное.

При способе центрального расположения (рис. 2.5, *а*) главный и вспомогательный стволы располагаются в центре шахтного поля. Здесь вспомогательный ствол является клетевым, через который осуществляется спуск и подъем людей, доставка материалов и выдача пустых юрод, а также подача свежего воздуха в шахту. Выдача отработанного воздуха производится через подъемный ствол.

Достоинствами центрального расположения стволов является компактность размещения технологического комплекса поверхности, наличие общего предохранительного целика полез-

ного ископаемого для охраны стволов, зданий и сооружений на поверхности и возможность использования вспомогательного ствола для углубки стволов.

Большим недостатком этого способа размещения стволов является возвратносточное проветривание горных выработок, что не обеспечивает условия для надежного и безопасного проветривания выработок при разработке пологих весьма газоносных пластов и пластов, склонных к внезапным выбросам или суфлярным выделениям газа. Кроме того, этот способ не надежен с точки зрения обеспечения безопасности горнорабочих в случае возникновения различного рода аварий в горных выработках, в частности, во время пожара и завалов выработок. Эти недостатки являются основной причиной отказа от применения способа центрального расположения стволов в шахтном поле при строительстве современных рудников.

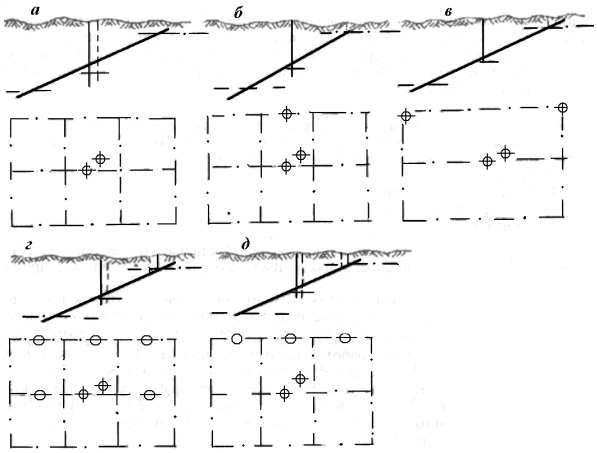


Рис. 2.5. Расположение главного и вспомогательного стволов в пределах шахтного поля *а – центральное; б – центрально-отнесенное; в – фланговое; г – секционное; д – комбинированное*

На рис. 2.5, *б* показана схема центрально-отнесенного расположения стволов. Вентиляционный ствол располагается у верхней границы шахтного поля на линии, делящей его длину

по простиранию на равные части. Он служит для отвода отработанного воздуха из шахты. Здесь подъемный и клетевой стволы располагаются в центре шахтного поля.

При фланговом или диагональном расположении скиповой и клетевой стволы располагаются в центре шахтного поля, а вентиляционные стволы – на флангах у верхней границы шахтного поля (рис. 2.5, *в*).

При строительстве современных рудников и шахт с годовой производственной мощностью до 3 млн. т этот способ получил наибольшее распространение и становится почти универсальным.

Недостатком флангового расположения стволов в шахтном поле является невозможность использования вентиляционных стволов для доставки людей и материалов.

К преимуществам относятся прямоточная схема проветривания и надежное обеспечение безопасности горнорабочих.

Секционное расположение стволов показано на рис. 2.5, *г*. Здесь в центре одного из блоков сооружают подъемный и клетевой стволы, а каждый из других блоков имеет свои вентиляционные стволы, расположенные по центрально-отнесенной схеме. Этот способ применяется при строительстве рудников с большой годовой производственной мощностью.

При схеме комбинированного расположения (рис. 2.5, *д*) в центре шахтного поля заложены скиповой и клетевой стволы, а у верхней границы шахтного поля в каждой панели или блоке пройден свой вентиляционный ствол. Этот способ также применяется при строительстве современных крупных рудников и шахт.

Следует отметить, что на выбор места заложения стволов существенно влияет ряд геологических факторов, например, мощность наносов, наличие тектонических нарушений, карстовых пустот и плывунов. Стволы должны быть заложены так, чтобы обеспечить их строительство до конечной глубины в наиболее благоприятных условиях с минимальными затратами капитальных вложений.

2.1.6. Подготовка шахтных полей

Общая схема очередности подготовки к отработке шахтного поля сводится к разделению его вскрытой площади, как по простиранию, так и по падению на части, которые в свою очередь затем раскрываются на выемочные участки.

Подготовкой шахтного поля называют проведение подготовительных и нарезных выработок, обеспечивающих условия для ведения очистной выемки на ряде выемочных участков.

При разработке месторождений горизонтального и пологого падения шахтное поле разделяют обычно горизонтальными и наклонными выработками на панели или столбы, в которых ведут очистную выемку той или иной системой разработки. В некоторых случаях при разработке мощных рудных тел горизонтального и пологого залегания шахтное поле может быть разделено горизонтальными и восстающими выработками на блоки.

При разработке месторождений наклонного и крутого падения шахтное поле по падению, как правило, разделяют горизонтальными выработками на этажи, которые в последующем нарезаются восстающими или наклонными выработками на блоки.

Термин «блок» имеет двоякий смысл. В одном случае при разработке рудных месторождений блоками называют выемочные участки, нарезанные горизонтальными и восстающими выработками в пределах этажа, отрабатываемые, как правило, одной и той же системой разработки. В другом случае блоком называют часть шахтного поля, вскрытую с поверхности воздухоподающим и воздухоотводящим стволами, предназначенными для обособленного (секционного) проветривания выработок. Транспортирование и подъем горной массы осуществляют, соответственно, по откаточному штреку и подъемному стволу, общим для всех блоков. При этом подъемный ствол, как правило, располагается в центральном блоке.

2.1.6.1. Подготовительные и нарезные выработки

Подготовительными выработками обычно называют те горные выработки, которые разделяют шахтное поле на отдельные выемочные участки и обеспечивают условия проведения нарезных работ для подготовки их к очистной выемке.

К подготовительным выработкам относятся: откаточные штреки и орты на основных горизонтах, вентиляционные штреки, бремсберги, уклоны, людские ходки, наклонные съезды, блоковые восстающие. Эти выработки служат для транспортирования горной массы, материалов, оборудования, проветривания и передвижения людей.

В зависимости от горнотехнических условий с учетом назначения подготовительные выработки могут быть пройдены горизонтальными, наклонными и вертикальными по рудным телам или по пустым породам. Если эти выработки пройдены по пустым породам, то их называют полевыми.

Работы, связанные с проведением подготовительных выработок, называют подготовительными.

Подготовительные выработки, проводимые по руде в пределах блоков, панелей, столбов и других выемочных участков для создания фронта очистных работ, называют нарезными.

К нарезным выработкам относятся:

Выработки, разделяющие блок на отдельные подэтажи, камеры или слои – подэтажные буровые штреки и орты;

Выработки, пройденные для образования отрезных щелей и компенсационных пространств – отрезные восстающие, подсечные штреки и орты;

Выработки горизонта выпуска и доставки руды – скреперные, конвейерные, поставочные штреки, орты, рудоспуски в пределах блока, дучки, воронки, траншеи, погрузочные заезды, вентиляционные сбойки, ниши и камеры для размещения вибропитателей и лебедок, а также камеры, орты, служащие для вторичного дробления.

Нарезные выработки также могут быть горизонтальными, наклонными и вертикальными. Эти выработки предназначены

для бурения скважин и шпуров, доставки и выпуска руды и закладочных материалов, проветривания и передвижения людей.

Отношение объема или общая длина всех подготовительных и нарезных выработок к объему вынимаемого запаса руды служит одной из мер оценки той или иной системы разработки и называется коэффициентом подготовки.

Подготовительные выработки, которые проходят на уровне основного откаточного горизонта, называют этажными.

Горизонтом называется местоположение совокупности горных выработок, расположенных на одном уровне, измеряемом высотной отметкой. Все горизонты являются этажными и по своему назначению обычно разделяются на основные, концентрационные, горизонты вторичного дробления.

Основной горизонт представляет собой откаточный горизонт, по которому горная масса транспортируется к околоствольному двору.

Концентрационным горизонтом называется основной горизонт, на который перепускается отбитая руда по рудоспуску из вышележащих этажей. Каждый концентрационный горизонт обслуживает одновременно 3–4 и более этажей по доставке и транспортировке их отбитой руды к рудничному двору. Таким образом, при эксплуатации концентрационного горизонта не требуется строительство околоствольных дворов на вышележащих этажах, что позволяет значительно сокращать как эксплуатационные, так и капитальные затраты.

Горизонты или этажи отрабатываются по простиранию, как правило, на двух крыльях шахтного поля.

2.1.6.2. Способы подготовки шахтного поля

В зависимости от элементов залегания месторождений с учетом экономической эффективности их разработки шахтное поле делят на этажи, панели, длинные столбы по падению и блоки. Такое деление шахтного поля определяет, соответственно, его способы подготовки. Таким образом, при подземной разработке месторождений полезных ископаемых применяют этажный, панельный, блоковый, длинные столбы по падению,

так называемые – погоризонтальный и комбинированный способы подготовки шахтного поля (рис. 2.6).

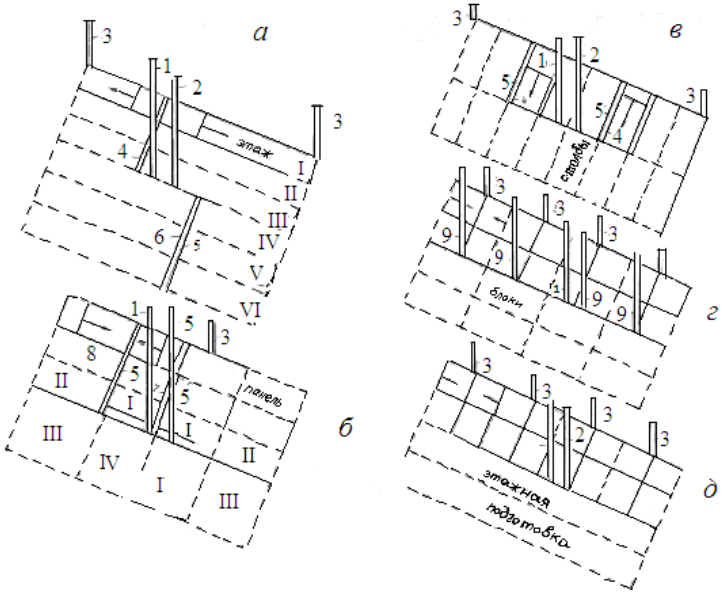


Рис. 2.6. Различные способы подготовки шахтного поля:
а – этажный, б – панельный, в – погоризонтный, 3 – вентиляционный ствол, 4 – бремсберг, 5 – людской ходок, 6 – уклон, 7 – панельный штрек, 8 – ярусный штрек, 9 – воздухоподающий ствол

Все указанные способы широко применяются при разработке пластовых месторождений. При разработке рудных месторождений наибольшее распространение получили этажный и панельный способы подготовки шахтного поля.

Выбор способа подготовки шахтного поля осуществляется в зависимости от геологических и горнотехнических условий месторождений с учетом уровня технической вооруженности. Производят технико-экономические расчеты по затратам, связанным с проведением подготовительных и нарезных выработок, очистными работами, транспортированием отбитой руды, а также капитальными затратами по приобретению машин и оборудования [16].

Этажный способ подготовки или этажная подготовка применяется при разработке наклонных, крутопадающих и, реже, пологопадаюших месторождений.

Этажом называют часть шахтного поля, ограниченную по падению откаточным и вентиляционными штреками, а по простиранию – границами шахтного поля.

Для разработки наклонных и крутопадающих рудных месторождений этаж делится по простиранию на блоки.

При этажной подготовке шахтного поля по месту расположения погрузочных пунктов различают штековую и ортовую схемы подготовки откаточного горизонта.

При штековой схеме подготовки откаточного горизонта погрузочные пункты располагаются вдоль откаточного штрека. Такими погрузочными пунктами являются дучки, выпускные люки рудоспусков и погрузочные заезды при применении погрузочных машин.

При ортовой схеме подготовки откаточного горизонта погрузочные пункты располагаются в ортах-заездах или в соединительных откаточных ортах. При этом схема транспорта может быть тупиковой, кольцевой и петлевой. Аналогичные схемы транспорта применяются также при штековой схеме подготовки откаточного горизонта.

Штековая или ортовая схема подготовки откаточного горизонта принимается в зависимости от расположения блоков на этаже, определяемого, в свою очередь, мощностью рудного тела.

При разработке мощных и весьма мощных рудных тел блоки с длинной стороной располагают вкрест простирания рудного тела. В этом случае обязательно требуется ортовая схема подготовки откаточного горизонта. И, наоборот, при разработке рудных тел небольшой мощности в порядке до 30 м блоки с длинной стороной располагаются по простиранию вдоль штрека, т. е. принимается штековая схема подготовки откаточного горизонта.

В зависимости от места проведения откаточных выработок относительно рудного тела различают рудную, полевую и комбинированную подготовки откаточного горизонта.

При рудной подготовке откаточные штреки проводят по рудному телу. При полевой подготовке они располагаются в пределах лежачего или висячего бока, а иногда в том и другом боках вмещающих пород одновременно.

При разработке рудных тел наклонного и крутого падения мощностью больше 30 м, как правило, откаточные штреки проводят параллельно в висячем и лежачем боках и соединяются между собой ортами. В этом случае блоки располагаются вкрест простирания рудного тела, т. е. дучки для выпуска руды из блоков располагаются в ортах.

При комбинированной подготовке откаточного горизонта штреки проводят по руде и по породе и соединяют их сбойками. Кроме того, при этажной подготовке шахтного поля в зависимости от направления движения грузопотоков на откаточном горизонте различают две основные схемы транспортировки грузов – тупиковую и кольцевую.

При тупиковой схеме транспортировки грузов из полевого штрека через каждые 50–60 м по простиранию рудной залежи проводят тупиковые орты-заезды. При этой схеме откатка грузов несколько усложняется за счет того, что заезд составов в орты и их выезд происходят изменением направления движения поездов в одних и тех же выработках.

При кольцевой схеме транспортировки грузопотоков движение составов значительно упрощается и происходит в одном направлении.

Различные сочетания рудных и полевых штреков и их расположение относительно простирания месторождения определят схемы транспортирования грузов откаточных горизонтов.

2.1.7. Системы разработки

Основные понятия и термины

Система разработки месторождения – это порядок проведения во времени и пространстве подготовительных, нарезных и очистных выработок, увязанный с определенным типом фронта работы этажа и способами очистной выемки (формулировка профессора О.А. Байконурова) [15].

Очистная выемка – совокупность работ по отбойке, выпуску, доставке и по поддержанию выработанного пространства.

Способы очистной выемки – определенное сочетание элементов очистной выемки.

Выработки, образующиеся при очистных работах, называются очистными выработками, а забои – очистными забоями.

Забой – поверхность, ограничивающая горную выработку и перемещающаяся в пространстве в результате ведения горных работ.

Отбойка руды – отделение полезного ископаемого от основного массива.

Выпуск руды – перемещение полезного ископаемого от горизонта подсечки на горизонт доставки.

Доставка руды – перемещение полезного ископаемого с места отбойки до места погрузки в основные транспортные сосуды.

Управление кровлей – горные работы, связанные по предупреждению вредных последствий от проявления горного давления в подземных выработках для обеспечения безопасности и необходимых производственных условий.

Эти мероприятия применительно к очистному пространству называют поддержанием выработанного пространства. Перед очистными работами, как правило, проходят подготовительные и нарезные выработки.

Подготовка – проведение выработок, открывающих доступ к очистным забоям, служащих для сообщения, доставки, коммуникации энергии и проветривания участков. Проводимые с этой целью выработки, как и забои таких выработок, называются подготовительными.

Подготовка шахтного поля к очистной выемке заключается в разделении его на этажи выработками основного горизонта – откаточными штреками и ортами, а также в разделении этажа на выемочные участки-блоки **с** помощью восстающих выработок.

При отработке наклонных и крутопадающих рудных залежей к подготовительным выработкам относятся этажные штреки, орты и восстающие. В связи с применением самоходного оборудования в число подготовительных выработок входят также наклонные выработки для его передвижения по подэтажам, а

при выпуске руды на подошву откаточного горизонта – погрузочные выработки.

При пологом залегании месторождения шахтное поле делится подготовительными выработками – главными и панельными штреками – на панели и столбы.

Нарезка – проведение выработок для создания фронта очистных работ в подготовленной части этажа. Соответствующие выработки и работы, а также забои этих выработок называются нарезными.

К нарезным выработкам относятся:

подэтажные и слоевые горизонтальные выработки, разделяющие блок на отдельные выемочные подэтажи или слои;

выработки горизонта погрузки и доставки – штреки или орты, служащие для погрузки и доставки отбитой руды до выработок основного горизонта;

выработки горизонта грохочения – камеры, штреки, орты, служащие для вторичного дробления отбитой руды и перепуска ее на основной горизонт;

выработки горизонта подсечки, служащие для отделения добываемого массива руды от днища блока (подсечные штреки, дучки, разворонки дучек).

Магазинирование – временное оставление отбитой руды в выработанном пространстве.

Горное давление – напряжение, возникающее в окружающих горную выработку породах.

Несущая способность целика – это величина сжимающей нагрузки, вы- зывающей в целике состояние предельного равновесия.

Релаксация напряжения – это процесс установления статического равновесия в физической или физико-химической системе.

Горный удар – внезапное мгновенное разрушение целика или другой части массива с выбросом породы, разрушением крепи, сопровождается резким звуком и сотрясением массива.

Стреляние – отскакивание от массива породы (руды) линзообразных пластин с резким звуком.

Толчок – разрушение в глубине массива без выброса породы в горную выработку, проявляется в виде звука и значительного сотрясения массива, возможно появление пыли.

Реологические свойства горных пород – это изменение напряжения и деформации в горных породах при длительном действии горного давления.

2.1.7.1. Классификационные признаки системы разработки

Системы разработки между собой отличаются многими признаками:

- видом и расположением подготовительных и нарезных выработок в блоке (панели, камере);
- направлением подвигания очистной выемки относительно элементов залегания рудного тела – по простиранию, восстанию, падению;
- состоянием и способом поддержания образующего очистного пространства – выемка с открытым очистным пространством, с магазинированием руды с закладкой, креплением, обрушением руды и вмещающих пород;
- построением и формой очистного забоя – сплошная, уступная, подэтажная, этажная, слоевая, заходками;
- число стадий очистной выемки в блоке – одностадийная, двухстадийная, многостадийная;
- способом отбойки и доставки руды при очистной выемке.

Основными классификационными признаками системы подземной разработки являются:

а) конструктивные характеристики, т. е. определенная совокупность частей выемочного участка, его подготовительные, нарезные и очистные выработки и возводимые в них искусственные сооружения и устройства;

б) порядок очистной выемки, определяющий состояние образующегося очистного пространства – тип фронта работы этажа;

в) комплекс технологических операций, применяемых при извлечении частей выемочного участка – способы очистной выемки.

2.1.7.2. Единая классификация систем подземной разработки рудных месторождений

В основу классификации положен способ управления горным давлением. В некоторой степени она схожа с классификацией М.И. Агошкова. В табл. 2.1 приведена рассматриваемая классификация [15].

1 класс – системы разработки с открытым очистным пространством – отнесены системы, при которых очистное пространство, образующееся в результате выемки руды, остается во время отработки выемочного участка открытым, т.е. свободным, не заполненным закладочным материалом, отбитой рудой, крепью или обрушенными породами. Стенки и кровля открытого очистного пространства поддерживаются оставляемыми в рудном теле постоянными или временными целиками руды. Устойчивость вмещающих пород и руды является обязательным условием для применения систем этого класса.

Таблица 2.1

Единая классификация систем подземной разработки рудных месторождений

№ класса	Наименование класса	Системы
I	Системы с открытым выработанным пространством	1) Сплошные системы 2) Камерно-столбовые системы 3) Потолкоуступные системы 4) Система с доставкой руды силой взрыва 5) Система с подэтажной отбойкой 6) Этажно-камерные системы
II	Системы с магазинированием руды	1) Системы с магазинированием руды блоками 2) Системы с магазинированием и отбойкой руды глубокими скважинами
III	Система с закладкой	1) Сплошные системы с однослойной выемкой и закладкой 2) Системы разработки горизонтальны-

		ми слоями с закладкой 3) Столбовые системы с однослойной выемкой и закладкой 4) Системы с камерной выемкой и закладкой
IV	Системы с креплением	1) Системы с распорной крепью 2) Системы с крепежными рамами 3) Сплошные системы с однослойной выемкой и креплением 4) Столбовые системы с однослойной выемкой и креплением
V	Системы с обрушением	1) Системы слоевого обрушения 2) Системы подэтажного обрушения 3) Системы этажного обрушения 4) Столбовые системы с обрушением налегающих пород
VI	Комбинированные системы	1) Системы с креплением и магазинированием 2) Системы с креплением и закладкой 3) Системы с магазинированием и обрушением

2 класс – системы с магазинированием руды – отнесены системы разработки, при которых очистное пространство по мере выемки рудного массива заполняется отбитой рудой, полностью выпускаемой только по окончании отработки блока. Основным средством поддержания здесь служат рудные целики, иногда распорная и штанговая крепь. Замагазинированная руда способствует поддержанию вмещающих пород между целиками, но роль ее как средства поддержания является вспомогательной. Для систем с магазинированием характерны устойчивость вмещающих пород и руд и, как правило, крутое падение рудного тела.

3 класс – системы с креплением очистного пространства, они характеризуются наличием в очистном пространстве регулярно возводимой вслед за выемкой усиленной крепи, которая служит основным средством поддержания вмещающих пород и руд. Эти системы применяют при условиях, когда вмещающие

породы и руды не оказывают большого горного давления, но без крепи могут отслаиваться или обрушаться.

4 класс – системы с закладкой – отнесены системы, при которых очистное пространство, образующееся по мере выемки рудного массива, заполняется закладочным материалом. Закладка служит основным средством поддержания вмещающих пород. Иногда закладка служит только для того, чтобы противодействовать обрушению или оседанию поверхности. Крепь разной конструкции, простая и усиленная, возводится по мере очистной выемки ранее, чем производится закладка. Иногда крепление совсем не производится.

В отличие от двух первых классов системы с закладкой могут применяться в породах, при которых невозможны открытые обнажения на большой площади.

5 класс – с обрушением – отнесены системы, при которых очистное пространство по мере выемки заполняется обрушенными породами. В некоторых случаях обрушению (массовому) подвергается также массив руды.

6 класс – комбинированные системы разработки – разрабатываются мощные месторождения, при которых этаж или панель делится на чередующиеся, относительно близкие по размерам камеры и междукамерные целики, вынимаемые последовательно в две стадии разными системами. Обычно камеры вынимаются снизу вверх в первую очередь, а целики сверху вниз – во вторую, по окончании выемки соседних камер.

2.1.7.3. Системы с открытым выработанным пространством

Основным условием применения систем разработки с открытым очистным пространством является устойчивость рудного массива и вмещающих пород. Применяются эти системы для отработки рудных залежей разнообразных форм, размеров, углов падения. При этом максимальная мощность залежей, допустимая для этих систем разработки, ограничивается условиями безопасной работы, а также достаточной устойчивостью целиков при их умеренных поперечных размерах. В связи с этим,

системы этого класса применяются, как правило, в залежах малой и средней мощности и лишь в виде исключения – в мощных рудных залежах [18].

Очистное пространство в процессе выемки остается открытым, и поддержание его осуществляется рудными или породными целиками. В ряде вариантов систем этого класса в очистном пространстве устанавливают простую крепь для поддержания отдельных участков кровли и сооружения настила для работающих. Иногда камера частично заполняется отбитой рудой, нахождение которой в очистном пространстве вызывается не требованием технологического процесса разработки, а организационными причинами (отсутствие транспорта, необходимость создания резерва запасов отбитой руды и др.).

Практика горных работ показывает, что разработку с открытым выработанным пространством можно вести до глубины порядка 800 м. При большей глубине усиливается опасность работ вследствие возможности горных ударов и взрывов, кроме того, в результате увеличения горного давления возникает необходимость в оставлении целиков больших размеров.

2.1.7.4. Сплошные системы разработки

Сущность сплошной системы разработки состоит в том, что разработка ведется без предварительной нарезки рудной залежи на выемочные поля, блоки или камеры, когда фронт очистных работ представлен сплошной линией забоя. Линия очистных работ может быть вытянута в любом направлении в зависимости от горно-геологических условий месторождения. Сплошные системы преимущественно применяются при отработке залежей малой и средней мощности. Устойчивость пород кровли является главным условием применения этих систем. При разработке мощных рудных тел массив должен быть устойчив.

Вследствие значительных потерь в целиках применение этой системы целесообразно в рудах сравнительно невысокой ценности.

Сплошная система разработки отличается большой длиной забоя, что дает возможность использовать мобильное самоход-

ное оборудование. Отбойка в зависимости от вынимаемой мощности может вестись безуступным забоем (мощность до 5–8 м) и уступным забоем (мощность рудного тела свыше 5–8 м).

Поддержание кровли в выработанном пространстве при небольшой мощности осуществляется простейшими видами крепи (стойки, костры), при средней и большой мощности – нерегулярно оставляемыми целиками, преимущественно на участках с пониженным содержанием металла, или регулярно оставляемыми целиками.

2.1.8. Управление горным давлением

Горные породы, слагающие земную кору, находятся в напряженном состоянии, параметры которого зависят от веса пород, тектонических сил и температуры. Нетронутый массив горных пород находится в состоянии равновесия и возникающие в них напряжения (при отсутствии тектонических сил и температурных градиентов) будут определяться только собственным весом пород.

Проведение горных выработок (образование пустот) нарушает первоначальное силовое поле горных пород. Под горным давлением обычно понимают напряжения, возникающие в окружающих горную выработку породах [5].

Если в результате образования пустот в породах возникают напряжения, превышающие пределы прочности пород, или напряжения, способствующие развитию деформации ползучести, горные породы могут разрушаться и заполнять горные выработки. Деформации пород или крепи называются проявлениями горного давления. Возможны статические или динамические (внезапные выбросы, горные удары) проявления горного давления.

Основными методами управления состоянием массива горных пород при ведении очистных работ является оставление целиков, закладка выработанного пространства, крепление очистных забоев, обрушение пород.

2.1.8.1. Гипотезы горного давления

В зависимости от свойств массива окружающего горные выработки, для характеристики напряженно-деформированного состояния пород пользуются различными гипотезами горного давления. На этих гипотезах, подтвержденных происходящими в природе явлениями, базируются расчетные методы, с помощью которых определяют величины напряжений и смещений в породах, выявляют закономерности их распределения и прогнозируют проявления горного давления.

В процессе разработки месторождения горный массив претерпевает значительные, изменения. В результате подработки он, теряя упругие свойства, может приобрести пластические, а после обрушения и дробления может стать подобным сыпучей среде. Поэтому для одних и тех же пород на различных стадиях отработки месторождения для описания закономерностей горного давления и расчетов могут применяться различные гипотезы.

Однородный нетрещиноватый (или слаботрещиноватый) массив, сложенный крепкими вязкими породами, обычно отождествляют с изотропной сплошной средой, обладаю щей упругими свойствами. Связи и закономерности, происходящих в нем процессов, объясняют с помощью гипотез упругой среды, а для расчетов напряжений в ненарушенном массиве, вокруг одиночных выработок круглого и эллиптического сечения, сферических полостей и т.п. используют методы теории упругости.

Наличие трещиноватости, влияние горных выработок, зависящее от их размеров расположения и способа поддержания, а также длительность действия напряжений приводит к тому, что сплошные горные породы, сохраняя несущую способность, деформируются и приобретают пластические свойства. В таком случае расчеты ведут методами теории пластичности.

Учитывая, что горные породы, окружающие выработки, в зависимости от действующих напряжений могут обладать и упругими, и пластическими свойствами, наиболее полно объясняет происходящие в массиве пород явления гипотеза упруго-пластической среды.

Напряженно-деформированное состояние горного массива, сложенного осадочными породами можно рассматривать как пачку балок или плит различной толщины и прочности, которые обладают несущей способностью как в условиях упругого, так и неупругого деформирования. Это дает основание применять для расчета методы строительной механики, как для плит и балок.

Сильнотрещиноватый и слоистый массив горных пород может рассматриваться как лишенная сплошности среда, обладающая трением или трением и сцеплением. В этом случае для расчетов рекомендуются методы сыпучих сред с внутренним трением.

2.1.8.2. Поддержание целиками

Применение систем с открытым очистным пространством предусматривает сохранение равновесия горных пород в период отработки месторождения и после окончания ее, если их обрушение по каким-либо причинам недопустимо. Необходимыми условиями применения систем данного класса являются повышенные требования к устойчивости руд и пород.

Для поддержания налегающих пород оставляют межблоковые, междуэтажные и внутризабойные целики, при разработке горизонтальных и пологих месторождений – панельные, а в особо сложных условиях – барьерные целики, обеспечивающие изолированную выемку смежных шахтных полей или участков.

Для безопасности работ очень важно выбрать размеры целиков так, чтобы они обеспечивали устойчивое равновесие вышележащих пород. Для этого необходимо правильно определить действующую на целик нагрузку, знать его механические свойства и применять надёжные методы расчета. Чрезмерное увеличение размеров целиков приводит к излишним потерям полезного ископаемого, а необоснованное уменьшение – к разрушению целиков и обрушению вышележащих пород.

2.1.8.3. Напряженное состояние и несущая способность целиков

Под несущей способностью целика понимают величину сжимающей нагрузки, вызывающей в целике состояние предельного равновесия.

Под давлением вышележащих пород в целиках возникают напряжения и деформации. Распределение напряжений по сечению целика и его несущая способность зависят от величины действующих на него усилий, прочностных свойств пород, формы и размеров целика.

Целики в виде отдельных опор (столбов) или сплошных лент могут иметь различную форму поперечного сечения (круглую, эллиптическую, квадратную, прямоугольную) и разное соотношение ширины (параметра) b к высоте h. Целики считают высокими, если b/h<l, и низкими (широкими), если b/h> 1.

Для периферийных (краевых) зон целиков характерны различного рода нарушения; эти зоны частично или полностью теряют несущую способность. Породы серединной части целиков могут находиться в условиях двухосного или трехосного сжатия и обладать большей несущей способностью.

В широких целиках максимальные напряжения приходятся на участки, прилегающие к периферийным, а давление в средней части не может превышать первоначального. Опыты на моделях из оптических материалов показали, что при отношении b/h>4 ÷5 средняя часть целика будет находиться в условиях напряженного состояния. Объясняется это наличием в центральной части целика «ядра» материала, испытывающего всестороннее сжатие.

При уменьшении ширины целика максимум давления как бы отодвигается к осевой части целика. Поэтому напряжение в сечении высоких целиков распределяется менее равномерно и максимум давления сверху. Широкие целики обладают большей несущей способностью, а высокие целики – меньшей. Значение коэффициента формы $К_ф$. учитывающего снижение прочности целика при увеличении отношения b/h, приведены в табл. 2.2.

Снижение прочности целиков за счет трещин и слабых прослоек в расчетах необходимо учитывать коэффициентом ослабления $К_{осл}$.

Таблица 2.2

Значение коэффициента формы при увеличении отношений b/h

b/h	$К_ф$	Автор или коллектив авторов
–	$\sqrt{b/h}$	Е. Черн
1,0	1,0	Л.Д. Шевяков
0,5	0,7-0,8	-"-
0,33	0,5-0,6	-"-
0,25	0,4-0,5	-"-
–	0,77 +0,22 b/h	И. Баушингер
–	0,7+0,3b/h	Бантинг
0,33–1,0	0,6+0,4b/h	ВНИМИ
1,0–4,0	b/h	ВНИМИ

С учетом коэффициентов ослабления, формы запаса прочности $К_З$ несущая способность целика определяется:

$$R_ц = \frac{\sigma_{сж} K_{осл} K_ф}{K_з},$$

где $К_{осл}$ – коэффициент ослабления (нетрещиноватых пород) $К_{осл}$=0,4; для слоистых горных пород $К_{осл}$ = 0,2÷0,3); $\sigma_{сж}$ – предел прочности пород на сжатие; $К_З$ – коэффициент запаса (для барьерных целиков с длительным сроком существования $К_З$=7,0÷10,0; для временно оставляемых целиков, в последующем допустимо их обрушение $К_з$=2÷3; если целик должен стоять неопределенно долгий срок и необходимо сохранение дневной поверхности $К_з$=3÷5).

2.1.8.4. Искусственные способы поддержания выработанного пространства

Основных способов поддержания выработанного пространства четыре: магазинирование руды, закладка выработанного пространства, крепление очистных забоев и обрушение кровли.

Магазинирование применяют при отработке жил в устойчивых вмещающих породах. В процессе очистной выемки выпускается лишь часть руды до 30–40 %, а остальную оставляют до полной отбойки блока, что предотвращает отдельные отслоения или вывалы обнажающих боковых пород, снижает вторичное разубоживание и обеспечивает безопасные условия труда в очистных забоях.

Закладкой поддерживают боковые породы и кровлю камер. После выемки полезного ископаемого сразу (или с некоторым отставанием) в очистном пространстве размещают закладочный материал (пустые породы, хвосты обогатительных фабрик, твердеющие и бетонные смеси и т. д.). При устойчивой руде и неустойчивых вмещающих породах отработка и закладка ведется снизу вверх. Если неустойчивы не только вмещающие породы, но и руда, то выемка ведется в нисходящем порядке под искусственной кровлей.

Крепление необходимо для повышения устойчивости обнажений пород в очистных забоях. Для этой цели обычно устанавливаются штанги, стойки (одиночные или кустами) крепежные рамы, станки, костры или возводят каменные опоры.

2.1.8.5. Магазинирование руды как временное поддержание выработанного пространства

Магазинированную руду в выработанном пространстве можно рассматривать как сыпучий материал, не имеющий сцепления, но обладающий внутренним трением. В крупнокусковой уплотнившейся рудной массе, кроме трения, возможно и зацепление между отдельными глыбами.

Поддержание выработанного пространства магазинированием руды применяют при выдержанных элементах залегания

крутопадающих рудных тел, устойчивой, не склонной к слеживанию, окислению и возгоранию руды, достаточно устойчивых вмещающих породах. Возможно применение при любом угле падения, если мощность ее обеспечивает выпуск руды. Магазинирование отбитой руды в камере для поддержания выработанного пространства одновременно обеспечивает платформу для производства очистных работ. Магазинирование руды бывает полное, слоевое, подэтажное и кучное.

При полном магазинировании отбитая руда по мере продвигания очистной выемки постепенно заполняет выработанное пространство на всю высоту этажа, после чего ее полностью выпускают.

При слоевом магазинировании руду отбивают высотой 4–6 м и магазинируют ее на специальном настиле.

Подэтажное магазинирование – выделение в блоке подэтажей, из которых можно вести выемку поочередно или одновременно.

При кучном магазинировании по мере подвигания очистной выемки в выработанном пространстве оставляют на полках кучи отбитой руды, которые размешают по всей длине очистного забоя.

В породах трещиноватых средней и ниже средней устойчивости дополнительно применяют штанговое крепление висячего бока, частичное распорное крепление и поддержание временными целиками, оставляемыми внутри блока.

2.1.8.6. Способы управления горным давлением с обрушением

Самообрушение руды вслед за отбойкой руды – наиболее эффективный и дешевый способ управления горным давлением. Необходимым условием применения этого метода является соответствие параметров отрабатываемых блоков или секций параметрам обрушения пород. Обычно без особых задержек самообрушение налегающих пород происходит в трещиноватых неустойчивых породах при наличии достаточно широкого фронта очистных работ и сплошной отработке (без оставления целиков) блоков в этаже или рудном поле.

Принудительное обрушение пород необходимо при опасных зависаниях пород и значительных концентрациях опорного давления на рудный массив, прилегающий к выработанному пространству. Такие положения возникают при недостаточном развитии фронта очистной выемки в трудно обрушающихся налегающих породах, при наличии неотработанных целиков в выработанном пространстве. В таких случаях обрушение производят, взрывая глубокие скважины или минные заряды в нижней части толщи пород на высоту 0,5–1,5 мощности рудного тела, чтобы достаточно заполнить пустоты.

Принудительное обрушение кровли требует дополнительных затрат и удорожает добычу, зато почти исключает стихийность развития процесса обрушения. Если принудительная посадка завершается обрушением пород только непосредственно кровли, напряжения снижаются не более чем на 10–20 %. Поэтому метод принудительного обрушения пород, особенно при значительных глубинах разработки и больших пролетах выработанного пространства, трудно признать эффективным.

2.1.8.7. Крепление очистных забоев

Распорная крепь применяется для поддержания выработанного пространства при выемке крутопадающих, горизонтальных и пологих рудных залежей и жил мощностью до 2–3 м. Конструкции такой крепи показаны на рис.2.7, *а*. Распорная крепь поддерживает не только кровлю, но и почву выработки и главным образом служит для устройства рабочих полков. Для повышения устойчивости крепи распорки ставят под углом к висячему и лежачему бокам, равным 1/4 угла падения жилы. Распорку у лежачего бока заводят в лунку. Расстояние между распорками по длине выработки выбирают в зависимости от воспринимаемой ими нагрузки в пределах от 0,7 до 1,5 м.

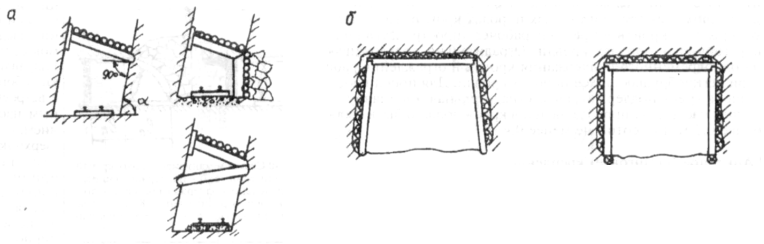


Рис. 2.7. Конструкции крепей

Крепежная рама обычно является основной формой деревянной крепи горизонтальных капитальных и подготовительных выработок. Но иногда ее применяют при системах слоевого обрушения. Основные виды крепежных рам показаны на рис.2.7, *б*. Для соединения переклада со стойками применяются замки: в лапу, в паз, в зуб. При равномерно распределенной нагрузке необходимый диаметр переклада из круглого леса определяется

$$d = 1{,}09\sqrt[3]{\frac{Pl}{K_{из}}},$$

где Р – горное давление, приходящееся на один переклад; l – длина переклада; $К_{из}$ – допускаемое сопротивление дерева на поперечный изгиб.

При параболически распределенной нагрузке

$$d = 1{,}17\sqrt[3]{\frac{Pl}{K_{из}}}.$$

Толщину стойки принимают равной толщине переклада.

Кустовую крепь (рис. 2.8, *в*) возводят из деревянных стоек, установленных по 9–18 штук вместе. Костровая крепь (рис. 2.9, *а, б*) состоит из отдельных костров, вкладываемых из деревянных стоек или отрезков рельсов.

Металлические стойки для крепления очистных забоев бывают двух типов: стойки трения и гидравлические (рис. 2.9) Стойки трения состоят из основания, выдвижной части и замка. Замок состоит из корпуса и клиньев. Гидравлические стойки представляют собой раздвижной гидродомкрат с встроенным для раздвижки ручным насосом или внешним питанием.

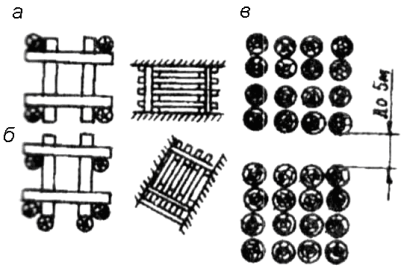


Рис. 2.8. Специальные деревянные крепи:
а, б – костровая крепь для пологого и крутого падения; в – кустовая крепь

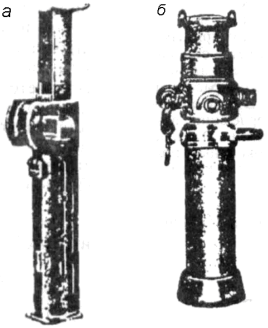


Рис. 2.9. Металлические стойки для крепления очистных забоев

Верхняки (металлические) бывают трех типоразмеров, длина которых принимается в зависимости от ширины захвата комбайнов и составляет 0,8; 1,0 и 1,25 м. Соединение верхняков между собой шарнирное. По мере подвигания забоя металлическую крепь переносят и повторно используют.

На угольных шахтах широко применяются механизированные крепи, в которых процесс их передвижки механизирован. На рис. 2.10 приведена принципиальная схема механизированных крепей, по характеру взаимодействия с породами делятся на: оградительные, поддерживающие, оградительно-поддерживающие.

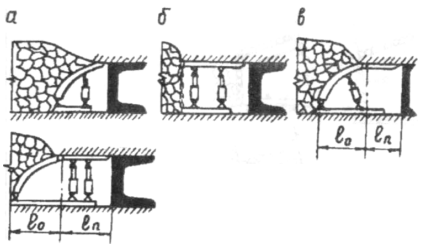


Рис. 2.10. Схемы механизированных крепей:
а – оградительные; б – поддерживающие; в – оградительно-поддерживающие; г – поддерживающе-оградительные. l_0 – оградительная часть; $l_п$ – поддерживающая часть

Оградительные крепи только ограждают очистной забой от попадания в него обрушенной породы и применяются при рыхлых породах кровли. Поддерживающие – предназначены для поддержания кровли в пределах рабочего пространства очистного забоя и применяются при устойчивых породах кровли. Оградительно-поддерживающие крепи имеют перекрытие для одновременного поддержания кровли и ограждения рабочего пространства, применяются при легкообрушающихся породах кровли. Для пород кровли средней устойчивости предназначена крепь поддерживающе-оградительная, где главную функцию выполняет поддерживающая часть. Для прохода людей в крепи должно быть свободное пространство шириной не менее 0,7 м и высотой не менее 0,4 м.

2.1.8.8. Анкерное (штанговое) крепление

В мире известно более 300 разновидностей анкерной крепи, отличающихся способом закрепления, материалом и конструктивным исполнением. В горно-рудной промышленности СНГ наибольшее распространение получили 12 разновидностей анкеров (рис. 2.11).

Металлические распорные (замковые) анкера, изготовляемые из круглой стали диаметром 16–20 мм, применяются в основном на угольных шахтах, а клино-щелевые анкеры с диаметром стержня до 24 мм – на отдельных рудниках черной и цветной металлургии. Параметрический ряд металлических анкеров длиной 1,0–2,4 м содержит 8 типоразмеров стержней с интервалом 0,2 м. Винтовые анкера имеют наружный диаметр 32 мм, шаг витков 30 мм, высота витков 6,5 мм. Анкерная крепь с закреплением в породах быстротвердеющими составами подразделяется на две основные группы: железобетонные и сталеполимерные.

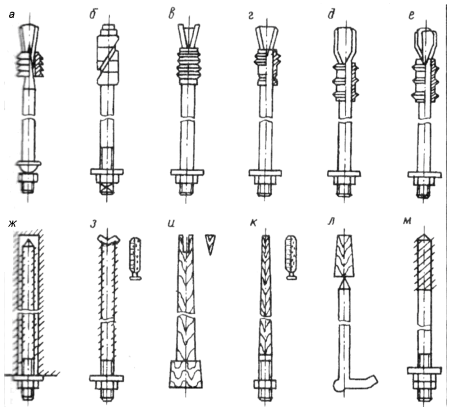


Рис. 2.11. Конструкции анкерных крепей:
а – треста Эстонсланец ЭС-2Э; б – ДонУГИ; в – КНИУИ; АР-1; г – ШК-1П; д;е – КНИУИАК8У; ж – железобетонный; з – сталеполимерный; и – деревянный кликощелевой; к – деревянный, закрепленный смолой; л – ЗШ

Железобетонные анкеры состоят из армирующего элемента, закрепленного в скважине песчано-цементным раствором, шайбы и гайки. В ряде конструкций наружный конец стержня отогнут под прямым углом, имеет утолщение или выполнен в виде петли. В качестве арматуры используется сталь периодического профиля, гладкостенные стержни, металлические прутки. Анкеры устанавливают инъекционным способом, путем подачи раствора в шпур, удержание цементного раствора в шпуре осуществляется с помощью манжет.

В сталеполимерных анкерах для закрепления армирующего стержня используют быстротвердеющие, высокопрочные составы на основе смол органического и минерального происхождения. Это, в основном, составы на основе синтетических термореактивных смол, таких как эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые и др.

2.1.8.9. Закладка выработанного пространства

Основные термины и понятия

Закладка выработанного пространства – совокупность процессов, охватывающих приготовление, транспортирование и укладку закладочного материала в выработанном пространстве.

Закладка 1) вид управления горным давлением; 2) материал, размещаемый в выработанном пространстве.

Закладка сухая – нескрепленный, способный при обнажениях к осыпанию, податливый массив, возведенный из кускового материала самотечным, механическим способом или с помощью сжатого воздуха.

Закладка гидравлическая – породный или песчаный материал, без вяжущих компонентов, транспортируемый с помощью потока воды.

Закладка пневматическая – подача сухой породной закладки и укладка ее в выработанном пространстве с помощью сжатого воздуха.

Закладка твердеющая – закладка, в которой составляющие компоненты формируются в монолит под действием вяжущего, кристаллизации (соль), отрицательной температуры (лед) и других факторов.

Закладочная пульпа (гидросмесь) – смесь закладочного материала с водой.

Закладочная шихта – смесь различных закладочных материалов, составленная в определенном количественном соотношении.

Закладочный комплекс – совокупность промышленных сооружений, механизмов и оборудования, предназначенных для приготовления, транспортирования и размещения в выработанном пространстве закладочной смеси; при необходимости может включать в себя временное хранение и подготовку исходных компонентов закладочной смеси.

Закладочный массив – массив закладочного материала, уложенного в выработанное пространство.

Закладочный материал – материал, предназначенный для заполнения выработанного пространства.

Закладочный трубопровод – трубопровод, предназначенный для транспортирования закладочного материала.

Изолирующая перемычка – искусственно возводимое сооружение для ограждения выработанного пространства перед подачей в него закладочного материала.

Прочность закладки – сопротивление закладочного массива воздействию сжимающих или растягивающих усилий.

Назначение и виды закладки

Основное назначение закладки – поддержание выработанного пространства, предотвращение обрушения вмещающих пород и оседания земной поверхности. Цель и условия применения закладки приведены в табл. 2.3.

Все способы закладки можно разделить на две группы: первая – компоненты закладочной смеси не взаимодействуют между собой, вторая – при взаимодействии компонентов происходит изменение их физического или химического состояния.

Таблица 2.3

Цель и условия применения закладки

Цель	Условия
Повышение полноты извлечения и качества руд	Разработка месторождений ценных руд. Селективная выемка разносортных руд. Разработка сложноструктурных месторождений. Отработка охранных и барьерных целиков.
Разработка месторождений в сложных горно-технических и горно-геологических условиях	Сильнообводненные месторождения. Неустойчивые руды и вмещающие породы. Разработка пожароопасных месторождений. Разработка глубоких горизонтов. Разработка удароопасных месторождений.
Интенсификация разработки месторождений	Совместная разработка открытым и подземным способами. Опережающая разработка рудных тел. Восходящая разработка месторождений.
Охрана окружающей среды	Охрана недр, земной поверхности, водных бассейнов и т. д. Утилизация отходов производства

К первой группе относят сухую и гидравлическую закладку, ко второй –твердеющую.

Сухая закладка характеризуется тем, что при заполнении выработанного пространства она представляет собой нескрепленный податливый массив. Основные недостатки искусственного массива из сухой закладки – неоднородная плотность и значительная усадка (от 1 до 5 %). Размещение закладочного материала в выработанном пространстве может осуществляться под действием собственного веса (самотечная закладка), с помощью различного рода механизмов и машин (машинная закладка) и посредством забрасывания материала струей сжатого воздуха (пневмозакладка).

Гидравлическая закладка позволяет получить более плотный массив при возможности интенсификации процесса закладки. Однако и в этом случае искусственный массив не допускает больших обнажений. При гидравлической закладке возникает проблема организации дренажа и отвода большого количества воды.

Твердеющая закладка в большинстве случаев как обязательный компонент включает вяжущий материал, который в результате гидратации с водой связывает в монолит все компоненты. Она допускает значительные обнажения искусственного массива, а также позволяет выдержать динамические нагрузки от воздействия взрывных работ.

При закладке солью или льдом за счет изменения состояния исходных компонентов образуется искусственный массив, позволяющий также работать при значительных обнажениях.

Этот вид закладки по сравнению с другими обеспечивает существенное повышение безопасности при очистной выемке, сокращение потерь и разубоживания до минимума, отработку запасов руды в охранных целиках различного назначения, сохранение земной поверхности и надшахтных сооружений.

К недостаткам применения твердеющей закладки следует отнести значительный расход вяжущего, дополнительные капитальные затраты на строительство закладочных комплексов, более высокие трудозатраты, что в конечном итоге приводит к повышению себестоимости добычи руды.

Основные характеристики закладки: прочность, пустотность, упругие, деформационные и компрессионные свойства. Под нормативной прочностью закладки понимают установленную проектом минимально допустимую прочность на одноосное сжатие искусственного массива, которую он должен иметь к определенному сроку, связанному с технологией ведения горных работ. Обычно для камерных систем этот срок составляет 60–90 сут, а для слоевых 10–14 сут. По существу это директивная прочность искусственного массива, определяемая технологическими и экономическими факторами.

2.1.9. Рудничный транспорт

Рудничный транспорт – совокупность операций по погрузке, разгрузке, складированию и перемещению грузов в пределах горнорудного предприятия как в шахте, так и на поверхности. Различают внутренний и внешний транспорт.

Внутренний – транспорт в границах горного предприятия, служит для доставки горной массы к околоствольным дворам и на поверхность, для снабжения добычных и подготовительных забоев оборудованием и материалами, для доставки рабочих к месту работы и обратно. В зависимости от места работы внутренний транспорт разделяют на подземный (забойный, участковый, магистральный, в околоствольных дворах) и транспорт поверхности (в надшахтных зданиях, от ствола до пунктов погрузки в средства внешнего транспорта, складов, отвалов породы, обогатительных фабрик и др.**).**

Внешний транспорт – служит для вывоза добытого полезного ископаемого потребителям и для доставки горно-рудному предприятию от заводов поставщиков оборудования и материалов.

Забойный транспорт, действующий в пределах очистного забоя и осуществляющий технологическую связь между погрузочными средствами транспорта горной массы.

Участковый транспорт, представляющий собой совокупность транспортных средств устройств для перемещения горной массы от очистных забоев до основного горизонта оборудова-

ния и вспомогательных грузов к очистным и подготовительным забоям.

Магистральный – транспорт, предназначенный для транспортирования горной массы от участковых выработок до околоствольного двора и перевозки людей и вспомогательных грузов от околоствольного двора к участковым выработкам.

Горной массой называют полезное ископаемое и пустые породы, получаемые как раздельно, так и в смешанном виде при разработке месторождений.

Грузопоток – количество определенного вида груза (в тоннах или кубических метрах), перемещаемого в определенном направлении в единицу времени.

Прямой (основной) – грузопоток горной массы (руды, породы) из очистных выработок, оборудование на ремонт, людей и вспомогательных грузов к околоствольному двору и на поверхность.

Обратный – грузопоток нового оборудования, крепежных материалов, смазочных и взрывчатых веществ, людей, направляющихся на работу от околоствольного двора к добычным участкам.

Технологической схемой подземного транспорта называют графическое изображение горных выработок или трассы транспортирования **с** указанием применяемых в этих выработках видов и типов транспортного оборудования и устройств, длины транспортирования и направления грузопотоков.

Подземные транспортные установки: локомотивный транспорт по рельсовым путям; перегружатели и конвейеры; канатные установки; самоходные вагоны; погрузочно-транспортные машины; автомобили; скреперные комплексы; гравитационные, гидро- и пневмотранспортные установки; монорельсовые и канатные подвесные дороги; погрузочные и закладочные машины; вспомогательное оборудование (толкатели, компенсаторы высот, опрокидыватели, стопорные устройства и т. д.).

Транспортные установки непрерывного действия перемещают грузы непрерывным потоком с загрузкой и разгрузкой при движении рабочего органа.

Установки цикличного действия перемещают грузы отдельными партиями или порциями при полной остановке транспортных установок или на малой скорости их перемещения.

Транспортным комплексом называют управляемую систему, объединяющую транспортные машины, установки и вспомогательное оборудование, а также средства диспетчеризации и автоматизации и обеспечивающую надежное перемещение грузов в заданном направлении.

Насыпные грузы – руда, порода, закладочные материалы, цемент. Наливные – вода, горюче-смазочные материалы, эмульсии.

Штучные – машины, элементы крепи, грузы в контейнерах, различное оборудование, а также люди.

Насыпная плотность – плотность единицы объема свободно насыпанного груза, т/м^3.

Кусковатость – количественное распределение насыпных грузов по крупности кусков.

Угол естественного откоса – угол между боковой поверхностью насыпанного груза и горизонтальной плоскостью.

Абразивность – свойство горной массы истирать взаимодействующие с ней поверхности в процессе загрузки, транспортирования и разгрузки.

Производительность – основной параметр всех транспортных комплексов. Количество груза (т, м^3), транспортируемого за единицу времени (ч, мин, смена).

Грузонесущий орган – это орган, на котором (лента, пластины), по которому (решетчный став, трубы) или в котором (вагонетки, ковш) осуществляется транспортирование грузов.

Доставка – транспортирование горной массы от забоя до откаточных путей.

Откатка – транспортирование в сосудах на колесах по горизонтальным и слабонаклонным рельсовым путям.

Перевозка – транспортирование в сосудах на колесах, перемещаемых непосредственно по почве.

Скреперный комплекс включает в себя скреперную установку и перегрузочный полок.

2.1.10. Рудничная вентиляция

Схемой вентиляции рудника называется ориентированный граф путей движения рудничного воздуха и распределения его

количеств по горным выработкам с отметкой местоположения различных вентиляционных устройств и сооружений [5].

Параметрами вентиляционных сетей называются величины, определяющие состояние горных выработок при движении по ним воздуха. К ним относятся сопротивление выработок, депрессия и количество воздуха.

Депрессия – разность между атмосферным давлением и давлением, создаваемым всасывающим вентилятором.

Напор (компрессия) – разность между атмосферным давлением и давлением, создаваемым нагнетательным вентилятором.

Полная депрессия равна сумме статического и скоростного давлений и затрачивается на преодоление сопротивления вентиляционной сети рудника, самой вентиляторной установки и на создание скоростного напора на выходе воздуха в атмосферу.

Естественная тяга – давление, создаваемое за счет разности плотности воздуха, возникающей, в основном, от разности его температур и давлений воздушных столбов.

Реверсия воздушного потока – искусственное изменение направления движения воздуха в горных выработках на обратное.

Характеристикой вентилятора называется кривая, выражающая зависимость депрессии вентилятора от количества проходящего через вентилятор воздуха при постоянном числе оборотов колеса.

2.1.10.1. Рудничный воздух

Атмосферный воздух, поступая в подземные выработки, претерпевает ряд изменений в своем составе. Изменение состава воздуха при его движении по горным выработкам, а также его скопления в них, приводит к уменьшению содержания кислорода и увеличению содержания углекислого газа, азота, метана, окиси углерода и других газов, а также пыли.

Атмосферный воздух, состав которого изменяется в условиях подземных горных выработок, называется рудничным воздухом.

Если состав шахтного воздуха почти не отличается от атмосферного, его называют свежим, в остальных случаях воздух называют испорченным или загрязненным.

Состав атмосферного воздуха практически постоянен: содержание кислорода – 20,4; азота – 70,08; аргона – 0,93; углекислого газа – 0,03 %. Суммарное содержание гелия, криптона, ксенона, озона не превышает 0,01 % (по объему).

В состав шахтного воздуха входят не только компоненты атмосферного воздуха, но и вредные газы и пары: удушливые, ядовитые и взрывчатые, к которым относятся: метан, азот, окись углерода, сероводород, водород и т. д. В шахтах, разрабатывающих урановые и ториевые месторождения, выделяются газообразные радиоактивные вещества – радон и др. Кроме того, в состав шахтного воздуха также входят вредные пары (ртутные, мышьяковые и т. д.), пыли и сажи.

Ядовитыми примесями шахтного воздуха являются окись углерода, окислы азота, сернистый газ, сероводород. Большое количество ядовитых газов выделяется при ведении взрывных работ и работе машин с двигателями внутреннего сгорания.

Состав рудничного воздуха строго регламентируется Правилами безопасности в следующих допустимых концентрациях (табл. 2.4, 2.5 и 2.6).

2.1.10.2. Рудничная пыль

Под пылью понимается совокупность тонкодисперсных твердых частиц органического или минерального происхождения.

Дисперсная система, в которой дисперсная фаза представлена частицами размером от 10^{-5} до 10^{-7} см, называется золем. Если дисперсионной средой является воздух, то система называется аэрозолем. Аэрозолем являются пыль, туман и дым. Пыль, осевшая на поверхностях, называется аэрогелем.

В зависимости от крупности частиц различают пыль макроскопическую (размером 10 мкм), микроскопическую (размером 10–0,25 мкм), ультрамикроскопическую (размером 0,01 мкм), субмикроскопическую (размером меньше 0,01 мкм).

В неподвижной дисперсной среде макроскопические пылинки оседают с возрастающей скоростью, микроскопические пылинки – с постоянной скоростью, ультра- и субмикроскопические пылинки практически не оседают.

Таблица 2.4

Состав рудничного воздуха	Предельно допустимая концентрация газа	Примечание
1. Кислород 0_2	не менее 20	
2. Углекислый газ $C0_2$	не более 0,5	В исходящей струе не более 0,75 %. При проведении и восстановлении выработок по завалу 1 %
3. Окись углерода CO	не более 0,0017	При содержании 16,2–73,4 % взрывчатая смесь
4. Оксиды азота NO, NO_2,, $N,0_4$, N_20_5	не более 0,00026	
5. Сернистый газ $S0_2$	не более 0.00038	
6. Сероводород H_2S	не более 0,00071	При 6 % содержании взрывчатая смесь
7. Акролеин CH-CH COH	не более 0,0008	При работе машин с дизельными двигателями
8. Формальдегид CH_20	не более 0,00040	При работе двигателей внутреннего сгорания
9. Аммиак NH_3	не более 0,002	При содержании 16–26 % взрывчатая смесь
10. Водород H_2	не более 0,5	При содержании 4–74 % взрывчатая смесь
11. Метан CH_4	Содержание метана в шахтном воздухе не должно превышать значений, приведенных в табл. 2.5	От 5 до 14 % взрывчатая смесь, более 14 % не горит и не взрывается. Взрыв имеет максимальную силу при содержании в воздухе 9,5 % метана

Таблица 2.5

Допустимое содержание метана в горных выработках

Вентиляционная струя	Недопустимое содержание метана, % (по объему}
1. Исходящая из очистной или тупиковой выработки, камеры, выемочного участка.	Не более 1
2. Исходящая из крыла или шахты	Не более 0,75
3. Поступающая на выемочный участок, в очистные выработки, к забоям тупиковых выработок и в камеры.	Не более 0,5
4. Местные скопления метана в очистных, тупиковых и других выработках.	Не более 2

Таблица 2.6

Допустимые дозы облучения

Категория лиц, подвергающиеся облучению	Допустимая доза внешнего облучения всего организма, бэры	
	за неделю	за год
А. Работающие непосредственно с источниками ионизирующего облучения.	0,1	5
Б. Работающие в помещениях, смежных с теми, в которых ведутся работы с источниками излучения.	0.01	0,5
В. Все население, проживающее на территории, граничащей с санитарной юной.	0,001	0,05

Примечание: Бэр (биологический эквивалент рада. Рад – поглощенная доза ионизирующего излучения, равная 0,01 Дж и приходящаяся на 1 кг облученного вещества).

Степень дисперсной среды определяется запыленностью воздуха, измеряемой количеством содержащейся в нем пыли, которое выражается числом миллиграммов пыли в 1 $м^3$ или пылинок в 1 $см^3$ воздуха.

Для перевода весовых норм в числовые принимают, что 1 $мг/м^3$ соответствует приблизительно 200 пылинкам (до 2μ в поперечнике) на 1 см.

По действию на человеческий организм пыль разделяется на две категории: 1)ядовитая пыль(свинцовая, ртутная, мышьяковая и т. д.), 2) неядовитая пыль(уголь, руда, разные горные породы).

В случае неядовитой пыли воздух можно считать: мало пыльным ≤1 мг/м^3, умеренно пыльным ≤5 мг/м^3, пыльным ≤10 мг/м^3, весьма пыльным <20 мг/м^3,чрезвычайно пыльным ≤100мг/м^3.

Нормы предельно допустимых концентраций минеральной пыли приведны в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Нормы предельно допустимых концентраций минеральной пыли в воздухе

Вид пыли	Допустимая концентрация, мг/м^3
Пыль, содержащая более 70 % свободной SiO,	1,0
Пыль, содержащая от 10 до 70 % свободной $Si0_2$ Асбестовая пыль, содержащая более 10 % асбеста Пыль угольная и породная, содержащие более 10 % свободной $Si0_2$	2,0
Пыль силикатов, угольная, содержащая менее 10 % $Si0_2$	4,0
Пыль барита, фосфорита, апатита, цемента, содержащая менее 10 % $Si0_2$	5,0
Пыль угольная, не содержащая SiO	10,0

Из общего количества взвешенной в воздухе шахт пыли при добыче руды может быть отнесено: за счет буровых работ до 35 %, взрывных работ – 10 %, остальных работ – 5 %.

Взрывчатость серной и сульфидной пыли

При разработке медных и серно-колчеданных руд, а также серы большую опасность представляют взрывы сульфидной и серной пыли с выделением большого количества сернистого газа.

Взрывы сульфидной пыли происходят при разработке колчеданных руд с большим содержанием пирита (50–90 %). Такие взрывы возникают при наличии взвешенной в воздухе пыли размером частиц около 0,1 мм и плотностью пылевого облака до 250–1500 г/м^3. Большинство взрывов сульфидной пыли происходят при содержании серы 40 % и более.

Наиболее опасна сульфидная пыль, имеющая в своем составе фракции крупностью 10–100 мкм. Пыль крупностью более 250 мкм становится невзрывчатой. К категории взрывоопасных отнесены все шахты, разрабатывающие сульфидные руды с содержанием серы более 35 %.

Серная пыль более опасна, чем сульфидная и угольная, т. к. температура воспламенения и нижний предел ее концентрации значительно ниже, чем для угольной и сульфидной пыли (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Минимальные значения температуры воспламенения и взрыва серной пыли

Разновидность серы	Минимальная температура ^{0}C	
	воспламенения	взрыва
Комовая	290	340
Кристаллическая	275	320
Флотоконцентрат	275	320

Серная пыль становится взрывчатой при содержании ее в воздухе 5–15 г/м^3 (нижний предел). Верхний предел взрывчатости составляет 600–1000 г/м^3.

Все шахты, опасные по взрыву серной пыли, подразделяются на две группы в зависимости от среднего содержания серы в руде.

Первая группа – от 12 до 18 %, вторая группа – более 18 %.

При содержании в руде серы <12 % шахты относятся к группе неопасных по газу и пыли.

Борьба с пылью

В подземных выработках борьба с пылью как профессиональной вредностью осуществляется путем проведения комплекса мероприятий, связанных с технологией производства, техническими средствами и организацией выполнения производственных процессов. Технологические мероприятия по их назначению можно разделить на две группы:

1 Мероприятия, обеспечивающие периодически концентрированное массовое пылеобразование и его ликвидацию общешахтной вентиляцией. К таковым относятся применение различных систем разработки с массовой отбойкой руды с помощью глубоких взрывных скважин (системы этажного принудительного обрушения, подэтажного обрушения, этажно-камерные системы с магазинированием руды и пр.).

2 Мероприятия, снижающие пылеобразование при бурении шпуров и скважин, а также при погрузке и разгрузке горной массы.

К техническим относятся мероприятия, снижающие содержание пыли в воздухе (по подавлению витающей пыли).

Основными средствами по борьбе с пылью, витающей в воздухе, являются следующие:

1 деятельное проветривание горных выработок, особенно в забоях и призабойных выработках;

2 распыление воды в местах пылеобразования (орошение, водяные завесы, туманообразование, смыв пыли, осевшей на поверхности);

3 очистка запыленного воздуха различными способами (тканевые, электрические фильтры труба Вентури с циклоном и др.).

К организационным мероприятиям относятся организация производства взрывных работ в междусменные перерывы или в выходные дни, контроль за соблюдением правил безопасности по борьбе с рудничной пылью.

Среди комплекса мероприятий по борьбе с рудничной пылью основное место занимает рудничная вентиляция.

Для выноса пыли от места ее образования в выработке достаточна скорость воздуха порядка 0,25–0,30 м/с. Однако при сильном пылеобразовании необходимы более высокие скорости движения воздуха – 2–3 м/с и выше до определенного предела,

за которым имеет место увеличение запыленности воздуха за счет взметывания осевшей пыли и замедления процесса седиментации.

В процессе бурения шпуров высокая эффективность по пылеподавлению достигается при их бурении с боковой промывкой водой. При работе ручными бурильными молотками рекомендуется подача воды в количестве примерно 3,5–5 л/мин, колонковыми перфораторами – 5–7 л/мин, телескопными – 6 л/мин.

Для охлаждения буровых инструментов, пылеподавления и выноса шлама вращательное и ударно-вращательное бурение скважин также осуществляется с подачей воды.

Для повышения эффективности пылеподавления при мокром бурении применяются различные смачиватели: ОП-0, ТЭА, АС и ДБ.

Высокоэффективным мероприятием по борьбе с витающей пылью при взрывных, погрузочно-разгрузочных работах, дроблении негабаритов, а также при перевозке горной массы является способ орошения распыленной (диспергированной) водой.

Для смачивания диспергированной водой витающих пылевых частиц и осаждения их из потока запыленного воздуха широко применяются оросители различного типа: РС, с тангенциальным подводом воды, МакНИИ и передвижная оросительная установка.

Ороситель типа РС хорошо зарекомендован для очистки воздуха от пыли и газов после взрывных работ. При полностью открытой щели оросителя дальнобойность факела достигает 10–12 м, его диаметр 1,5 м, расход воды при этом составляет 1,0–1,1 л/с.

Осаждение пыли, образующейся при взрывных работах, можно осуществлять при помощи водяных туманов, создаваемых туманообразователями. С этой целью до начала и после взрыва в течение не менее 30 мин участок выработки длиной до 100 м заполняется густым туманом. При подаче свежего воздуха в местах взрыва пылегазовое облако, проходя через участок, заполненный туманом, и разбавленное свежим воздухом, эффективно очищается от пыли и ядовитых газов.

Для обеспыливания воздушного потока в некоторых местах горных выработок устраиваются водяные завесы с помощью

оросителей. Наибольшее распространение получили полуавтоматические водяные завесы, которыми удобно пользоваться при прохождении людей через зону их действия.

При погрузке и разгрузке горной массы широко применяется также гидрообеспыливание с помощью форсунок с конусным факелом, перекрывающим всю зону источника пылеобразования.

Гидрообеспыливание, как средство для предупреждения образования пыли и для подавления образовавшейся пыли, весьма эффективно. Однако бывают условия, когда пользование водой затруднительно или невозможно, как, например, при отсутствии магистрального водовода до отдаленных забоев, при наличии пород, которые от воды вспучиваются или размокают, при наличии вечной мерзлоты или наоборот, при высокой температуре, глубоких шахтах, где повышение влажности воздуха недопустимо. В указанных случаях переходят на бурение с сухим пылеулавливанием.

Метод централизованного пылеулавливания при сухом бурении шпуров может осуществляться в двух вариантах:

- улавливание пыли одной общей стационарной пылеулавливающей установкой;

- улавливание пыли с использованием старых выработок.

В этом случае по пылеотводящему трубопроводу запыленный воздух движется со скоростью 20–25 м/с и поступает в пылеулавливающую выработку, где его скорость снижается до 0,02–0,03 м/с. Благодаря такому резкому изменению скорости движения значительная часть пылевых частиц выпадает из воздуха.

Для централизованного улавливания пыли при работе большого числа перфораторов предназначен пылеуловитель ЦСПУ-2. Очистка воздуха в нем осуществляется в четыре стадии: первая – в циклоне, вторая – через сетки, третья – через слой воды, четвертая – в орошаемом фильтре, выполненном из пористой губчатой резины. Остаточная пыльность воздуха не превышает 0,1–0,2 мг/м^3.

Большой интерес представляет применение электрофильтров для очистки запыленного воздуха. Наибольшее распространение получили электрофильтры ЭПМ-55 конструкции ВНИИцветмета, обеспечивающие очистку воздуха до 0,2 мг/м^3 с про-

пускной способностью 15 $м^3$/с. Для установки электрофильтра необходимо проходить специальную обводную выработку. КПД электрофильтров достигает 99,7 %.

Бывают случаи, когда по условиям работ требуется прибегнуть к индивидуальной защите работающих в пылевой обстановке с помощью респираторов, отфильтровывающих пыль из вдыхаемого воздуха. Широко распространен респиратор типа РН-21 (институт НИГРИ золото). Сопротивление респиратора вдоху с чистым фильтром не свыше 3,8–9,81 Па, к концу смены – не более 4,8– 9,81 Па. Объем мертвого пространства 65 $см^3$.

2.2. Основные понятия открытых горных работ

2.2.1. Способы разработки месторождений полезных ископаемых

Открытыми горными работами называют совокупность работ, производимых с земной поверхности с целью добывания разнообразных горных пород и создания различных выемок и котлованов. Наибольшие масштабы открытых горных работ связаны с добычей полезных ископаемых. При этом все работы и процессы, связанные с извлечением полезного ископаемого из недр, совершаются в открытых горных выработках. При *подземном способе разработки* полезные ископаемые добывают посредством сооружения специальных подземных выработок [5].

При открытой разработке месторождений горные работы подразделяются на вскрышные (выемка, перемещение и перемещение вскрышных пород) и добычные (выемка, перемещение и складирование или разгрузка полезного ископаемого). В соответствии с целями и особенностями производства выделяются отдельно горно-подготовительные работы, объединяющие проведение вскрывающих и подготовительных выработок (капитальных траншей и полутраншей, разрезных траншей и полутраншей и других выработок, например подземных, и т. д.). Целью горно-подготовительных работ является создание транспортного доступа к забоям и начального фронта горных работ.

Открытая разработка включает также работы по подготовке месторождения и его отдельных участков (в основном подготовка поверхности), по обеспечению устойчивости разрабатываемого массива горных пород, по охране недр и сооружений (обеспечению водного режима, предотвращению самовозгорания пород и деформации поверхности, рекультивации и т. п.). Указанные работы должны производиться в определенном порядке. Между ними необходимо выдерживать четкие соотношения и зависимости, позволяющие по техническим условиям обеспечить в каждый момент времени требуемый фронт вскрышных и добычных работ, производительную и безопасную работу применяемого оборудования и в целом эксплуатацию месторождения.

Порядок и последовательность выполнения открытых горных работ в пределах карьерного поля или его участка называется системой разработки. Принятая система разработки должна обеспечить безопасность ведения работ, планомерность и экономическую эффективность их, предусмотренную производственную мощность карьера, полноту извлечения запасов, комплексное использование всех полезных ископаемых, охрану недр и окружающей среды.

Под вскрытием (системой вскрытия) понимается совокупность долговременных горных выработок (траншей и подземных выработок), обеспечивающих транспортный доступ с земной поверхности к рабочим горизонтам карьера и забоям с целью доставки вскрышных пород на отвалы, полезных ископаемых – к пунктам их приема на поверхности, а с поверхности к рабочим горизонтам – материалов, оборудования и людей.

2.2.1.1. Технология разработки месторождений

Технология разработки месторождения – это совокупность способов и приемов механизированного осуществления взаимосвязанных процессов горных работ, основанная на фундаментальных знаниях закономерностей разработки и возможностей технических средств [19].

Непосредственно горные работы на карьерах заключаются в выемке, перемещении и складировании полезных ископаемых и вскрышных пород. Соответственно весь комплекс горных работ можно разделить на связанные между собой основные производственные (технологические) процессы: подготовку пород к выемке, выемочно-погрузочные работы, перемещение (транспортирование) горной массы, складирование (отвалообразование) пустых пород и разгрузку или складирование полезных ископаемых. Если на карьере производится первичное обогащение или переработка полезного ископаемого до конечного продукта, они также входят в состав основных производственных процессов.

Технологическими называют процессы, при которых разрабатываемые горные породы изменяют свое агрегатное состояние и местоположение.

Каждому основному производственному процессу соответствуют вспомогательные работы, которые позволяют планомерно осуществлять основной процесс или облегчают его.

Помимо этого на карьерах выполняется ряд общих вспомогательных процессов – электроснабжение, вентиляция, водоотлив, опробование полезных ископаемых, ремонты оборудования и др.,– способствующих производству горных работ.

Выемочно-погрузочные работы, перемещение и разгрузка (складирование) горной массы объединяют основные и вспомогательные процессы горных работ, составляя единый и по существу, непрерывный технологический комплекс горных работ, в котором организация одного процесса влияет на организацию других связанных с ним процессов.

Все основные производственные процессы на карьерах механизированы. В настоящее время преобладающими способами механизации производственных процессов являются экскаваторный, гидравлический и комбинированный (их сочетание). При экскаваторном способе применяются различные механические средства (экскаваторы, скреперы, механические виды транспорта и др.), а при гидравлическом основные производственные процессы осуществляются с помощью воды и специального гидромеханизированного оборудования. Экскаваторный способ универсален, посредством его выполняется до 95 % объ-

емов горных и массовых земляных работ; гидравлический способ применяется преимущественно при разработке пород, легко поддающихся размыву и транспортированию водой, при наличии источников воды и достаточно дешевой электроэнергии.

Средства механизации производственных процессов должны в первую очередь соответствовать характеристикам пород, в противном случае выполнение этих процессов становится технически невозможным или весьма затруднительным. Важно не только иметь техническую возможность выемки и перемещения горных пород, но и обеспечить высокую производительность средств механизации в каждом процессе, их надежность в работе и долговечность эксплуатации.

Большие объемы разрабатываемых и перемещаемых горных пород, измеряемые на карьере нередко десятками и сотнями миллионов тонн в год, вызывают необходимость подбора технических средств механизации основных процессов, соответствующих по производительности, размерам, развиваемым усилиям (мощности) друг другу. Такая цепь взаимосвязанных машин и механизмов, обеспечивающих надежную и эффективную разработку и перемещение пород, называется комплексом карьерного оборудования.

Комплексная механизация предусматривает полную механизацию не только основных, но и вспомогательных процессов. Комплекс карьерного оборудования включает соответствующие основному оборудованию по мощности и производительности средства механизации вспомогательных работ. Из всех операций вытеснен тяжелый ручной труд.

Наиболее дорогостоящим и трудоемким процессом при открытой разработке является перемещение горных пород. Минимальные затраты средств достигаются либо при перемещении пород в конечное положение по кратчайшему расстоянию, либо при перемещении их на большие расстояния более дешевыми видами транспорта.

В комплексы оборудования добычных и вскрышных работ, как правило, включаются транспортные средства. Они отличаются наличием разгрузочных устройств на поверхностном технологическом комплексе или у потребителей.

Наиболее эффективная и планомерная эксплуатация горного и транспортного оборудования достигается при поточном производстве горных работ, характеризуемом выполнением всех процессов в одном темпе, непрерывностью общего процесса разработки и равномерностью во времени (ритмичностью). Поточность производства легче достигается при использовании оборудования непрерывного действия (роторных экскаваторов, конвейеров и др.).

Основными принципами, на которых базируются технология и механизация горных работ, являются: поточное производство, совмещение основных процессов, независимость процессов, кратчайшее расстояние перемещения горной массы, сокращение числа и объемов вспомогательных работ [6, 7].

2.2.1.2. Понятие о карьере и его параметрах

В результате производства открытых горных работ на земной поверхности образуются большие выемки, совокупность которых называют карьером. Контур поперечного сечения этих выемок является незамкнутым.

В административно-хозяйственном понимании карьером называют горное предприятие, осуществляющее открытую разработку месторождения. В угольной промышленности и на россыпных месторождениях карьер называют разрезом.

При производстве открытых горных работ для добычи полезного ископаемого горизонтальной или пологой залежи необходимо удалить покрывающие пустые (вскрышные) породы (рис. 2.12, *а*), а лежачий бок (почва) залежи не разрабатывается.

При разработке наклонных и крутых залежей помимо покрывающих пород необходимо удалить и часть вмещающих пустых пород для создания транспортного доступа к различным частям залежи по глубине и для обеспечения устойчивости массива вмещающих пород после выемки полезного ископаемого. Так как для этих целей угол откоса породного массива должен быть не более 25–30°, при открытой разработке наклонных залежей удаляются только вскрышные породы со стороны висячего бока залежи, а породы лежачего бока не вынимаются (рис.

2.12, *б*). При разработке крутых залежей вынужденно удаляют породы со стороны висячего и лежачего ее боков (рис. 2.12, *в*).

Удаление больших масс покрывающих и вмещающих вскрышных пород является характерной особенностью открытых разработок угольных и рудных месторождений, когда годовые объемы перемещаемых пород могут в несколько раз превышать объемы добываемых полезных ископаемых. При разработке строительных горных пород объемы работ по удалению пустых пород невелики, а в некоторых случаях и совершенно отсутствуют.

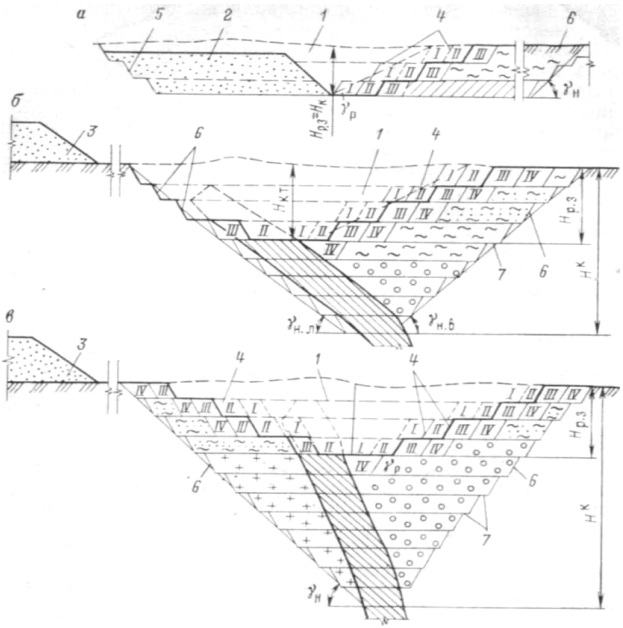


Рис. 2.12. Принципиальные схемы открытой разработки залежей:
а – горизонтальных; б – наклонных; в – крутых; 1 – выработанное пространство; 2 и 3 – внутренние и внешние отвалы; 4 и 5 – рабочий и нерабочий борта; 6 – конечный контур карьера; 7 – бермы; I, II, III, IV – последовательность развития работ на уступах; $H_{р.з.}$ – высота рабочей зоны; $H_к$ – конечная глубина карьера; $v_р$ – угол откоса рабочего борта; $v_н$ –угол откоса нерабочего борта; $v_{н.л.}$ – угол откоса нерабочего борта по лежачему боку; $v_{н.в.}$ – угол откоса нерабочего борта по висячему боку

При ведении горных работ с земной поверхности создается техническая возможность, а большие объемы горных работ обусловливают необходимость применения в карьерах мощного оборудования для разрушения, выемки и транспортирования пород.

Выемка полезного ископаемого, покрывающих и вмещающих пород производится слоями с опережением верхними нижних.

В общем случае слой является более широким понятием, чем уступ. Уступ – это отдельно разрабатываемая часть слоя горных пород, имеющая форму ступени. В наиболее распространенных условиях разработки горизонтальными и наклонными слоями соответственно горизонтальные и наклонные уступы совпадают с ними и имеют ту же высоту (мощность слоя) и размеры в плане. При большой высоте горизонтального слоя (до 50–100 м) его можно разрабатывать и наклонными уступами. Крутые слои могут разрабатываться горизонтальными уступами.

Каждый уступ характеризуется высотной отметкой, соответствующей горизонту расположения на нем транспортных коммуникаций. Отметки уступов могут быть абсолютные (относительно уровня моря) или, реже, условные (относительно постоянного пункта на поверхности). У горизонтальных уступов отметки постоянные, а у наклонных – переменные.

Горизонтальные или наклонные поверхности уступа, ограничивающие его по высоте, называют нижней и верхней площадками (рис. 2.13), а наклонную поверхность, ограничивающую уступ со стороны выработанного пространства, – откосом уступа. Углом откоса уступа называется угол, образованный поверхностью откоса уступа и горизонтальной плоскостью, а линии пересечения откоса с верхней и нижней площадками – соответственно верхней и нижней бровками.

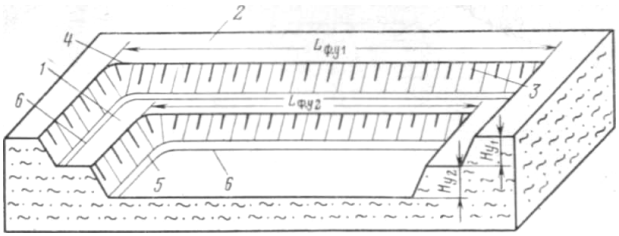


Рис. 2.13. Элементы уступа:
1 и 2 – нижняя и верхняя площадки соответственно; 3 – фронтальный откос уступа; 4 и 5 – верхняя и нижняя бровки соответственно; 6 – места сооружения транспортных коммуникаций; $L_{ф.у1}$ и $L_{ф.у2}$ – длина фронта работ соответственно первого и второго уступов; $H_{у1}$ и $H_{у2}$ – высота первого и второго уступов соответственно

Различают рабочие и нерабочие уступы. На рабочих уступах производится выемка вскрышных пород или полезного ископаемого. Если на площадке располагается оборудование, необходимое для разработки уступа, она называется рабочей площадкой.

Часто уступы разделяются на подуступы (рис. 2.14), которые разрабатываются разным выемочным оборудованием или одним и тем же оборудованием последовательно или одновременно, но имеют единые для уступа транспортные пути.

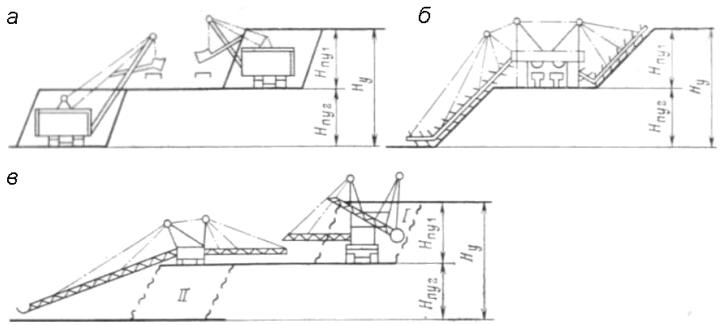


Рис. 2.14. Схемы разработки подуступов:
а – одновременно разными экскаваторами; б – последовательно одним экскаватором; в – одновременно двумя экскаваторами; $H_у$ – высота уступа; $H_{ПУ1}$ и $H_{ПУ2}$ – высота соответственно первого и второго подуступов

Часть уступа по его длине, подготовленная для разработки, называется фронтом работ уступа, который измеряется его протяженностью $L_{ф.у}$. Фронт работ уступа может быть прямолинейным или криволинейным в плане, а протяженность его остается постоянной или изменяется, что зависит в первую очередь от формы и размеров разрабатываемой залежи. Подготовка фронта заключается главным образом в подводе транспортных и энергосиловых коммуникаций для обеспечения работы оборудования на уступе.

В результате выемки пород происходит отработка уступа. В подавляющем большинстве случаев в карьере одновременно разрабатывается несколько уступов, происходит их подвигание, а часто и создание новых уступов по глубине карьера. Ступенчатые боковые поверхности, образованные откосами и площадками уступов и ограничивающие выработанное пространство, называются бортами карьера (см. рис. 2.12).

Борт, представленный рабочими уступами, называют рабочим бортом карьера. Линия, ограничивающая карьер на уровне земной поверхности, является верхним контуром карьера, а линия, ограничивающая дно (подошву) карьера, его нижним контуром. При производстве горных работ положение рабочего борта, верхнего и нижнего контуров карьера меняется в пространстве. Постепенно отдельные уступы, начиная сверху, достигают конечных контуров (границ) карьера. К моменту погашения (окончания) открытых работ им соответствуют конечная глубина и конечные размеры карьера в плане (см. рис. 2.12). Откосы уступов нерабочих бортов карьера, на которых горные работы не проводятся, разделяются бермами (площадками): транспортными и предохранительными.

Угол между линией, нормальной к простиранию борта и соединяющей верхний и нижний контуры, и горизонталью называется углом откоса борта карьера (рабочего или нерабочего). Величина его зависит от высоты уступов и ширины их площадок и находится обычно в пределах: рабочего борта 7–17° (иногда до 23–27°), нерабочего борта 25–53°.

Совокупность уступов, находящихся в одновременной разработке, называется рабочей зоной карьера. Положение рабочей

зоны определяют отметками нижних площадок верхнего и нижнего (на данный момент времени) рабочих уступов карьера (см. рис. 2.12). Длина фронта горных работ карьера представляет собой суммарную протяженность фронтов горных работ всех рабочих уступов.

Для введения в разработку нового уступа необходимо создать транспортный доступ к нему и первоначальный фронт работ с соответствующей рабочей площадкой.

Для расположения транспортных коммуникаций, по которым будет осуществляться транспортирование горной массы нового уступа на поверхность или вышележащие уступы, необходимо вскрыть уступ, т. е. провести с поверхности или вышележащего уступа специальные (вскрывающие) горные выработки. Эти выработки в большинстве случаев соединяют пункты, расположенные на разных высотных отметках (если вскрывают один уступ, то разница высотных отметок равна высоте уступа), и поэтому имеют определенный уклон *i*. При сооружении вскрывающие выработки обычно имеют близкое к трапецеидальному или треугольному сечение и называются соответственно капитальными траншеями и полутраншеями (рис. 2.15, *а* и *б*).

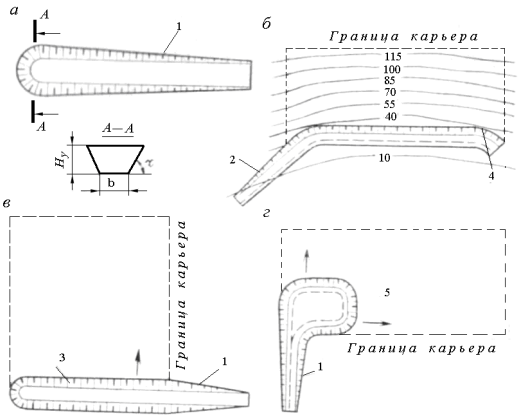


Рис. 2.15. Схемы горно-подготовительных выработок:
1 и 2 – соответственно капитальные траншея и полутраншея; 3, 4 и 5 – соответственно разрезные траншея, полутраншея и котлован; α – угол откоса борта траншеи; в – ширина подошвы траншеи; стрелками показано направление развития горных работ

Для создания начального фронта работ на вскрытом уступе (нарезки уступа) необходимо провести от вскрывающей выработки горизонтальную (реже с небольшим уклоном для стока воды) горную выработку значительной протяженности по сравнению с размерами поперечного трапецеидального (треугольного) сечения – разрезную траншею (полутраншею) или разрезной котлован, длина и ширина которого имеют один порядок измерения (рис. 2.15, *в* и *г)*.

Главные параметры карьера следующие:

1 конечная глубина, которая при разработке наклонных и крутых залежей определяет возможную производственную мощность карьера, размеры его по поверхности, общий объем извлекаемой горной массы. Для горизонтальных и пологих залежей конечная глубина определяется природными условиями и изменяется незначительно за весь период разработки. Конечная глубина устанавливается при проектировании карьера. Современные карьеры имеют глубину от нескольких до 400 м. Проектами предусматривается возможность открытых горных разработок до глубины 700–900 м;

2 размеры карьера на поверхности по простиранию и вкрест простирания залежи определяются размерами залежи, дна карьера, глубины и углов откоса его бортов. Они устанавливаются графически или аналитически. Форма карьера в плане обычно близка к овальной. Длина карьера изменяется от сотен метров до 8 км, а ширина в зависимости от типа месторождения – до 4 км;

3 размеры дна карьера устанавливаются оконтуриванием разрабатываемой части залежи на отметке конечной глубины карьера. Минимальные размеры дна карьера определяются условиями безопасной выемки и погрузки пород на нижнем уступе (по ширине не менее 20 м, по длине не менее 50–100 м);

4 углы откосов бортов карьера определяются условиями устойчивости пород при бортового массива и размещения транспортных коммуникаций. Их принимают более крутыми для уменьшения объема вскрышных работ;

5 общий объем горной массы в контурах карьера является важнейшим показателем, определяющим производственную мощность предприятия, срок его существования и др.

При равнинном рельефе поверхности достаточно точно общий объем горной массы в карьере (м^3) можно определить по выражению

$$V = S_д H_к + \frac{1}{2} P_д H_к^2 ctg\ \gamma_{ср} + \frac{\pi}{3} H_к^3 ctg^2\ \gamma_{ср}\ ,$$

где $S_д$ – площадь дна карьера, м^2; $H_к$ – глубина карьера, м, $P_д$ – периметр дна карьера, м; $\gamma_{ср}$ – усредненный угол откоса бортов, градус.

Площадь, форма контура и периметр дна карьера в первую очередь зависят от размеров и конфигурации залежи. Дну карьера придается по возможности округленная форма с целью повышения устойчивости бортов и уменьшения объема извлекаемых вскрышных пород;

6 запасы полезного ископаемого в контурах карьера – важнейший показатель, определяющий возможный масштаб добычи, срок существования карьера и экономические результаты разработки. Запасы в пределах каждого уступа (горизонта) и карьерного поля в целом устанавливаются при разведке месторождения, а затем уточняются и пересчитываются в контурах карьера при проектировании и эксплуатации его в соответствии с установленными и периодически изменяющимися кондициями на полезное ископаемое.

2.2.2. Технологическая характеристика горных пород

Объектами открытых горных работ являются разнообразнейшие горные породы: *коренные* (магматические, метаморфические и осадочные), залегающие в толще земной коры на месте своего образования, и покрывающие их *наносы* – измельченные породы, переотложенные или перенесенные.

При разработке горные породы подвергаются различного рода воздействиям, главным образом механическим: ударам, сдвигу, уплотнению, перемещению и другим, в результате чего изменяется их состояние. В общем случае различают естест-

венное и искусственно измененное (посредством взрыва, механическими способами разрушения, водопонижением, химическим укреплением и др.) состояния горных пород.

Горному инженеру важно знать физико-технические свойства и характеристики горных пород: плотность, пористость, влажность, сопротивление различным усилиям, абразивность, вязкость, хрупкость, устойчивость, увеличение объема при разрушении и др. При воздействии на породный массив в первую очередь необходимо знание свойств пород в их естественном состоянии; для других целей (погрузка, перемещение, складирование, дробление и др.) следует определять и учитывать свойства пород в искусственно измененном состоянии. При этом свойства пород зависят как от свойств пород в естественном состоянии, так и от способа воздействия на них и стадии разработки. Изменение свойств начинается на месте залегания пород. Например, при взрыве происходит не только разрушение пород, но и ослабление связей в прилегающем породном массиве; при водопонижении также изменяются свойства пород в массиве и т. д. Во многих случаях свойства пород изменяются постепенно (например, уплотнение пород в насыпях, слеживание, выветривание, фильтрационное оплывание сыпучих пород и т. д.).

Свойства пород изменяются в большом диапазоне. Трудно найти хотя бы две одинаковые по минералогическому составу породы на разных месторождениях с одинаковыми свойствами и характеристиками. Поэтому принято объединять породы в группы, категории и классы с определенным диапазоном свойств и характеристик.

Для открытой разработки все горные породы целесообразно делить на группы:

- скальные и полускальные (в естественном их состоянии);
- разрушенные (искусственно или естественно измененные породы первой группы);
- плотные, мягкие (связные) и сыпучие.

Группы пород предопределяют способы их разработки и применяемые для этого технические средства.

Учитывая особо важное значение трещиноватости пород для расчета технологических процессов и оценки трудности разработки пород, желательно до начала горных работ установить по специальным методикам: тип трещиноватости; углы падения и азимуты главных систем трещин; протяженность, раскрытие и расстояние между трещинами в системах; характер и степень заполнения трещин; общий объем трещинной пустотности (в %); размер отдельностей (блоков) в массиве.

Снижение прочности породы в массиве характеризуется коэффициентом структурного ослабления λ, равным отношению сцепления отдельного куска породы при отрыве от массива $К_м$ к сцеплению ее в образце (куске) $К_к$. Сцепление по трещинам и тектоническим нарушениям изверженных и метаморфических пород, а также по контактам слоев осадочных пород часто не превышает 0,05–0,1 МПа.

При оценке трещиноватости породного массива сейсмическими и акустическими методами может быть использован акустический показатель трещиноватости A_i равный отношению квадратов скоростей распространения продольных волн в массиве и в образце данной породы.

2.2.3. Способы подготовки горных пород к выемке

2.2.3.1. Общие сведения

Подготовка горных пород к выемке производится в целях обеспечения безопасности горных работ, необходимого качества добываемого сырья, технической возможности и наилучших условий применения средств механизации последующих процессов. Подготовка включает: обеспечение устойчивости откосов уступов; осушение горных пород, подлежащих извлечению в данный период разработки; разупрочнение и изменение их агрегатного состояния; разрушение (разрыхление) породного массива и другие виды воздействия на горные породы для облегчения их выемки.

Подготовка к выемке может осуществляться механическими способами (исполнительными органами горных машин),

гидравлическими способами (нагнетанием, насыщением водой, растворением), физическими способами (электромагнитным и термическим воздействием), химическим, комбинированными и взрывным способами. Выбор способа подготовки горных пород к выемке зависит, прежде всего, от вида, агрегатного состояния и свойств пород в массиве, мощности предприятия, наличных технических средств, предъявляемых требований к качеству добываемого сырья, а также от природных условий ведения работ. Затраты на подготовку к выемке составляют от 5 до 40 % общих затрат на горные работы [9].

Выемка мягких, песчаных и естественно мелкоразрушенных пород успешно производится всеми видами выемочно-погрузочного оборудования. При этом подготовка совмещена с выемкой и производится одними и теми же средствами механизации.

Выемка плотных пород также может осуществляться непосредственно из массива выемочными машинами с повышенными усилиями копания. Если усилия, развиваемые выемочными машинами, недостаточны, производится подготовка таких пород к выемке, которая заключается в их предварительном механическом рыхлении или взрывании на сотрясение. В мерзлом состоянии эти породы только при небольших отрицательных температурах могут разрабатываться непосредственно выемочными машинами с повышенными усилиями копания. Как правило, в этих условиях требуется подготовка к выемке механическим или взрывным способом или предварительное оттаивание. Используются также методы предохранения пород от промерзания.

Скальные и полускальные породы обычно подготовляются к выемке взрывным способом. Процессами подготовки в этом случае являются бурение и взрывание.

2.2.3.2. Управляемое обрушение пород

Подготовка горных пород к выемке возможна посредством управляемого обрушения уступов. В этом случае отделение пород от массива, их рыхление и перемещение к основанию уступа происходят в основном под действием силы тяжести.

В зависимости от соотношения высоты обрушаемого уступа $H_у$, высоты возможного выкола пород $h_в$, длительно устойчивой высоты вертикального обнажения пород H_{90} и кратковременно устойчивой (предельной) высоты вертикального обнажения пород $H_{90к}$ (рис. 2.16) изменяются как характер процесса обрушения пород, так и возможные мероприятия по его управлению.

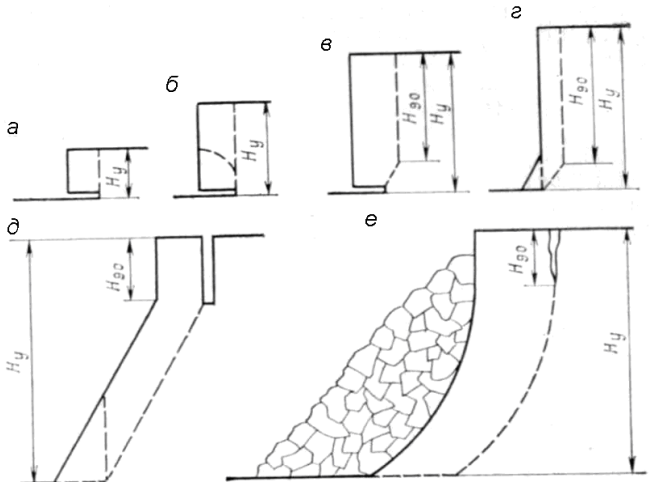


Рис. 2.16. Схемы обрушения уступов:
а – при $H_у \le h_В$; *б – при* $h_В < H_у < H_{90}$; *в – при* $H_{90} \le H_у < H_{90к}$; *г – при* $H_у = H_{90к}$; *д и е – при* $H_у > H_{90к}$

Для обрушения уступов при $H_у \le h_В$; $h_В < H_у < H_{90}$ или $H_{90} \le H_у < H_{90к}$ необходима их подрезка в основании врубовой выработкой. При первом условии обрушение протекает в виде отрыва вертикальных блоков, при втором и третьем происходят первоначально выколы небольших объемов породы, а затем отрыв нависающего блока. Когда высота уступа $H_{90} \le H_у < H_{90к}$, обрушение протекает в виде отрыва блока по вертикальной поверхности со сдвигом. Такой же характер обрушения наблюдается и в случае, когда $H_у = H_{90к}$, однако для этого необходимо производить выемку призмы подпора в основании уступа.

При $H_у > H_{90к}$ обрушение уступов, сложенных однородными породами, осуществляется посредством их подработки в осно-

вании и оконтуривания в кровле. Если в основании уступа имеются слабые контакты пород или пропластки, то при определенной высоте уступ обрушается без ослабления. Для последующего развития процесса оползнеобразования достаточно осуществить выемку определенного объема пород в основании оползня.

Ослабление уступов с целью их обрушения может быть осуществлено путем механической подработки, взрыванием скважинных зарядов или с помощью средств гидромеханизации.

При небольших одновременно обрушающихся объемах пород ($H_y \leq h_B$ или $h_B<H_y<H_{90}$) могут применяться обрушающе-погрузочные машины, оборудованные приемными устройствами. При этом с увеличением высоты обрушаемого уступа параметры машин остаются неизменными, а увеличивается только длина тяговых канатов, которыми соединены тяговый и обрушающий механизмы.

При обрушении высоких уступов ($H_{90}\leq H_y<H_{90к}$ и $H_y>H_{90к}$), когда в процесс сдвижения вовлекаются значительные объемы пород, процессы подготовки пород к выемке и выемочно-погрузочные работы не совмещаются во времени. Отработка таких уступов может осуществляться специальными обрушающе-погрузочными машинами и обычными экскаваторами.

Для управления процессом обрушения необходимы расчет ожидаемых параметров обрушения, выбор способа ослабления массива в зависимости от горнотехнических и горно-геологических условий месторождения, а также осуществление мероприятий по предотвращению самопроизвольных обрушений уступов с целью безопасного и экономичного производства выемочно-погрузочных работ. Обеспечение надежности управления процессом обрушения – основное условие применения этого способа подготовки пород к выемке.

2.2.3.3. Механические способы подготовки к выемке естественного камня

Сохранение физико-механических свойств и декоративности, а также достижение определенных размеров и формы камня

возможны при использовании специальных методов и средств направленного отделения блоков или штучного камня от массива, обеспечивающих концентрацию критических напряжений строго в необходимых плоскостях раскола или реза. Применение взрывчатых веществ при добыче блоков не рекомендуется, т. к. это приводит к появлению трещин в массиве и нарушению его сплошности.

При механическом (безвзрывном) отделении крупных монолитов камня от массива используются буроклиновой способ, терморезаки, канатные пилы, ченнелеры и бурогидроклиновой способ; крупные монолиты затем разделяют на товарные блоки. *Для непосредственного отделения от массива стенового камня или облицовочных блоков* (табл. 2.9) применяют камнерезные машины

Таблица 2.9

Способы подготовки к выемке блоков естественного камня

Способ	Рабочий орган	Принцип действия рабочего органа
Камнерезными машинами с кольцевой фрезой	Кольцевая фреза с твердосплавными резцами	Врубовый режущий
Канатными пилами	Стальной канат с кварцевым песком	То же
Камнерезными машинами с алмазными отрезными кругами	Алмазные отрезные круги диаметром 2,5–3,0 м	»
Буроклиновой (бурение ручное и с кареткой)	Буровые коронки, сложные клинья	Бурильный ударно-вращательный
Бурогидроклиновой	Буровые коронки, гидроклинья	То же
Ударно-врубовыми машина-ми (ченнелерами)	Набор долот	Врубовый ударный

В настоящее время на ряде гранитных карьеров внедрена *термическая резка* для отделения монолитов от массива (рис. 2.17). Производительность газоструйных камнерезных машин

составляет 1–2 м^2/ч. Преимуществами их применения являются увеличение выхода блоков в 1,5–2 раза по сравнению с выходом их при буровзрывном способе, улучшение качества блоков, сокращение затрат ручного труда и увеличение производительности камнетесов.

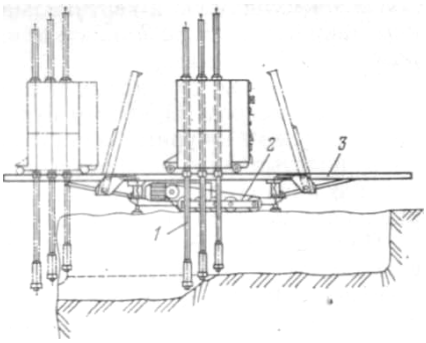


Рис. 2.17. Схема установки УГР-2 для газоструйной резки гранита:
1 – терморезак; 2–само-ходная тележка 3 – рама

При *буроклиновом способе* подготовка блоков к выемке состоит из двух взаимосвязанных процессов: бурения рядов сближенных шпуров в вертикальном, горизонтальном и наклонном направлениях по принятым плоскостям; последующего клинового откола камня.

При разделке гранитных монолитов на кондиционные блоки шпуры диаметром 20–40 мм бурят на глубину 80–100 мм, расстояние между шпурами составляет 0,05–0,1 м. В шпуры вставляют простые или сложные (состоящие из двух щечек и собственно клина) клинья. Ведутся работы по использованию специального препарата для отделения блоков от массива.

При разработке мраморных месторождений шпуры бурят на всю высоту или ширину блока. Расстояние между ними составляет 0,1–0,2 м в зависимости от способности мрамора к расколу и размеров добываемых блоков, на 1 м^3 горной массы бурят до 6–10 м шпуров. Производительность труда бурильщика при бурении горизонтальных шпуров составляет 15–20 м/смену, вертикальных – 25–35 м/смену. Производительность труда рабочего по отколу 2–3 м^3/ч. Суммарная производительность труда рабочего по производству готовых блоков 0,2–0,6 м^3/смену, трудоемкость работ при этом равна 1,7– 5 чел-смен/м^3.

Достоинства буроклинового способа подготовки мраморных блоков: простота, максимальное использование природных

трещин, возможность применения в сложных горно-геологических условиях и отбойки блока любого размера и любой прочности. Недостатки: большой удельный вес ручного труда, низкая производительность труда, высокие себестоимость блоков и трудоемкость работ, сложность обеспечения безопасности работ. В зарубежной практике (США, Франция, Бельгия, Италия, Швеция) при буроклиновом способе подготовки блоков широко используются вертикальные, горизонтальные и наклонные каретки и станки колонкового бурения.

Чаще всего буроклиновой способ применяют в сочетании с взрывным способом отбойки монолитов, с канатными пилами и другими способами.

Перспективным в направленном отколе блоков от массива или от крупных монолитов мрамора является применение *закладных клиньев с гидравлическим приводом.* Концентрация напряжений в необходимой плоскости и направленный откол блоков возможны только при групповой синхронной работе нескольких гидроклиньев (рис. 2.18). Использование таких клиньев позволяет увеличить расстояние между шпурами до 0,3–0,4 м, что значительно сокращает объем выполняемых буровых работ и повышает производительность труда рабочих.

Канатные пилы (рис. 2.19) различных конструкций являются основным средством направленного отделения мраморных блоков от массива и монолитов.

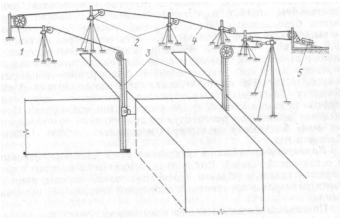


Рис. 2.18. Схема гидроклиновои установки: *1 – насос; 2 – измерительная аппаратура; 3 – золотниковый распределитель; 4 – шланг, 5 – закладные гидроклинья; 6 – породный блок*

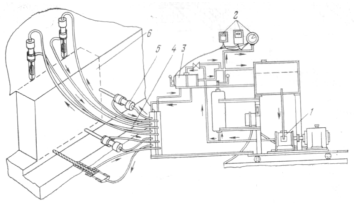


Рис 2.19. Схема канатной пилы: *1 – приводная станция; 2 – направляющие шкивы; 3 – пильные стойки; 4 – канат; 5 –натяжное устройство*

Процесс пиления осуществляется за счет абразивного действия кварцевого песка, непрерывно подаваемого с водой в забой. Производительность канатных установок составляет 1,2–1,5 м^2/ч. Достоинства канатных пил: простота конструкции и обслуживания, получение блоков необходимого размера и правильной формы, относительно невысокая энергоемкость пропила. Недостатки: сезонность работы, резкое снижение эффективности при наличии твердых включений и повышенной трещиноватости массива, большой объем горно-подготовительных работ.

Ударно-врубовые машины (ченнелеры) широко применяются на мраморных карьерах США, Канады, Франции и Испании. Машины могут производить вертикальные, наклонные, реже горизонтальные врубы. Рабочим органом этих камнерезных машин является комплект долот, которым сообщается возвратно-поступательное движение. При перемещении ченнелера по рельсам долота наносят удары по горной породе, разрушают ее и образуют врубовую щель шириной до 50–60 мм и глубиной до 6 м.

Организация работ при использовании ченнелеров предусматривает проведение вертикальных или наклонных врубов (в зависимости от трещиноватости или слоистости полезной толщи) на значительной площади кровли разрабатываемого слоя. Затем проводят разрезную траншею и производят горизонтальную отбойку нарезанных ченнелерами блоков (чаще всего буроклиновым способом), подготавливая таким образом к выемке весь слой. Производительность ченнелеров составляет 0,8–1,2 м^2/ч, или 5–8 м^2/смену. Ударно-врубовые машины имеют относительно высокую производительность при прочном мраморе, дают возможность получать блоки рациональных размеров. Недостатки их применения: увеличенная ширина вруба, большая энергоемкость разрушения, возможное нарушение прочности камня из-за большой энергии одиночного удара. Применение ченнелеров рекомендуется при их производительности не менее 5 м^2/смену на карьерах мощностью до 1000–1500 м^3 блоков в год.

Камнерезные машины разделяются на дисковые, баровые и с кольцевой фрезой. Выбор типа камнерезной машины определяется главным образом прочностью горной породы, потребными размерами продукции и выбранной технологией вырезки камня.

Подготовка пильного камня к выемке включает три операции (рис. 2.20): нарезку поперечных пропилов (1); горизонтальный пропил на длину заходки (2) и нарезку затыловочного пропила и отделение камня от массива по всей длине заходки (3).

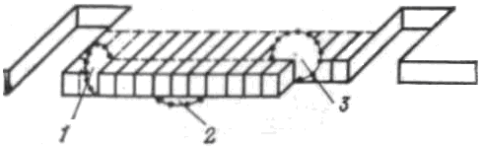


Рис. 2.20. Схема очередности (1–3) пропилов при работе камнерезных машин

Дисковые машины применяют для резания камня с пределом прочности при сжатии $\sigma_{сж}$=1÷25 МПа, машины с цепными барами – при $\sigma_{сж}$=1÷10 МПа, камнерезные машины с кольцевыми фрезами – при $\sigma_{сж}$=5÷120 МПа.

При использовании дисковых пил максимальная глубина пропила (м) определяется из выражения

$$h = 0{,}5\ (D–d),$$

где *D* – диаметр диска, м; *d* – диаметр фланца, м.

Чтобы избежать трения фланца о породу, необходимо принимать h=0,4D, что составляет 0,3–0,5 м. Производительность камнерезных машин, оснащенных дисковыми пилами, равна 4–20 $м^3$/ч. Преимущества камнерезных машин с дисковыми пилами заключаются в простоте конструкции, надежности эксплуатации, обеспечении минимальной толщины пропила. Недостаток дисковых пил – малый коэффициент использования корпуса диска по диаметру.

Для увеличения коэффициента использования длины рабочего органа и добычи крупных блоков стенового камня на карь-

ерах применяют камнерезные машины с кольцевыми фрезами. У этих машин использование рабочего органа по диаметру составляет 65–75 %. Кольцевые фрезы обеспечивают глубину пропила до 1025 мм. Для добычи крупных стеновых блоков с пределом прочности при сжатии до 40 МПа в основном применяется машина СМ-580А, имеющая производительность по горной массе 4–12 $м^3$/ч.

Машина СМ-177А предназначена для вырезки крупных блоков мрамора, мраморизованного известняка и других сходных с ними горных пород. Эксплуатационная производительность машин на мраморе – от 6 до 20 $м^2$ пропила в смену. Степень механизации процесса подготовки блоков к выемке составляет 60–70 %. Достоинства машины СМ-177А: надежность эксплуатации, высокая производительность при резании прочного мрамора ($\sigma_{сж} \leq 120$ МПа), правильная форма и ровные поверхности вырезаемых блоков. Недостатки: ограниченные размеры блока по ширине и высоте, значительные потери мрамора из-за ширины пропила 34–36 мм, снижение выхода блоков при развитой системе трещин.

Модификацией машины СМ-177А является камнерезная машина СМ-428, которая применяется в основном для подрезки мрамора при планировке кровли пласта, т. е. для производства работ по скальным вскрышным породам. Она обеспечивает монолитность нижележащего массива.

При добыче крупных блоков известняка и мрамора широко распространен алмазный инструмент. В Бельгии и Франции эффективно используются камнерезные машины, оснащенные алмазными сегментными отрезными кругами диаметром 2,5 и 3 м. Алмазные отрезные круги диаметром 0,5–0,8 м широкое применение получили в США, где ими оснащаются малогабаритные добычные камнерезные машины, а также в Австралии при разработке песчаника. Использование таких машин целесообразно при разработке месторождений осадочных, метаморфических и изверженных горных пород с $\sigma_{сж} \leq 100 \div 120$ МПа. По сравнению с камнерезной машины СМ-177А, оснащенные алмазным инструментом, имеют следующие основные преимущества: производительность труда рабочих увеличивается в 2,5 раза, затраты на

создание щелевого пропила и потери полезного ископаемого на пропил сокращаются в 2 раза, повышается качество поверхностей граней вырезаемых блоков.

Для подготовки к выемке крупных блоков применяют также камнерезные машины с цепными (баровыми) режущими органами. Использование длины рабочего органа при этом составляет 85–90 %.

Типичной машиной подобного рода является двухбаровая камнерезная машина КМАЗ-188, которую обычно применяют при прочности камня на сжатие не более 4–5 МПа; при этом производительность ее не превышает 1–2 м^3/ч по горной массе. Камнерезная машина КБЦ-3а (рис. 2.21) вырезает блоки размером 1×1×1,3 м, производительность ее в смену доходит до 18 м^3. На ряде карьеров облицовочного известняка и мрамора (Бельгия, Франция, Италия) распространены машины, оснащенные тонкими барами (толщиной 25–30 мм) с твердосплавными резцами. Производительность таких машин на мраморовидном известняке составляет 5 м^2 вруба в час при стойкости инструмента 1000–1200 м^2 пропила.

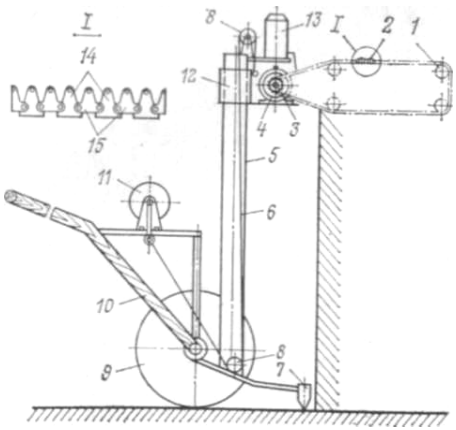


Рис. 2.21. Схема камнерезной буровой машины КБЦ-3а:
1 – бар; 2 –цепь; 3 – звездочка; 4 – электродвигатель; 5 –колонка; 6 – трос; 7 –кронштейн; 8 – ролики; 9 – колесо; 10 – ручка; 11 – лебедка; 12 – головка; 13 – бачок с водой; 14 – твердосплавные пластинки; 15 – планки

К достоинствам камнерезных машин с цепными режущими органами относятся: малые размеры и масса, маневренность в забое, относительно небольшая энергоемкость резания, возможность осуществления глубоких пропилов. Вместе с тем этому типу режущего органа свойственен ряд недостатков, основными из которых являются быстрый износ (вследствие большого числа подвижных звеньев) и наличие больших динамических нагрузок. Конструктивно цепные фрезы значительно сложнее дисковых пил [9].

2.2.3.4. Механическое рыхление горных пород

Механическое рыхление пород осуществляется прицепными или навесными рыхлителями, в которых масса тягача используется для заглубления рабочего органа рыхлителя. Глубина рыхления прицепными рыхлителями достигает обычно 0,4–0,5 м, а навесными – 1,5–2 м. На открытых разработках в СНГ наиболее успешно применяются навесные рыхлители тяжелого типа на тракторах мощностью более 184 кВт.

Рыхлители могут иметь до пяти зубьев с цельными или составными наконечниками. Для подготовки полускальных пород применяют однозубые рыхлители, а в плотных породах целесообразнее использовать многозубые рыхлители для увеличения их производительности. Навесные рыхлители имеют гидравлическую систему изменения глубины рыхления. Рыхление мало- и среднетрещиноватых полускальных пород производят зубьями с прямыми стойками. Для рыхления хрупких и сильнотрещиноватых пород используют зубья сложной формы.

К параметрам рабочего органа рыхлителя относятся (рис. 2.22): угол резания γ, угол заострения ω, задний угол φ, толщина и длина зуба, расстояние между зубьями.

Сила резания рыхлителя зависит от угла рыхления. Оптимальный угол рыхления при полускальных и мерзлых породах составляет 30–45°. Увеличение его от 40 до 60° удваивает лобовое сопротивление зубу. Уменьшение угла резания до величин менее 30° также сопровождается ростом сопротивления.

Угол заострения наконечников ω = 20÷30°. Он принимается таким, чтобы при любом заглублении зубьев задний угол составлял φ≥8÷10° при рыхлении мерзлых и φ≥5÷7° при рыхлении скальных и полускальных пород. Уменьшение угла φ ведет к смятию породы задней гранью наконечника, увеличению его износа и сопротивления породы рыхлению.

При движении рыхлителя порода разрушается в границах трапециевидной прорези. В монолитных породах в нижней части прорези образуется щель (рис. 2.23, *а*), ширина оснований которой *b* близка к толщине наконечника зуба b_1, а высота $b_щ$= (0,15÷0,2)h_3, где h_3 – заглубление зуба рыхлителя. Угол наклона боковых стенок прорези *α* изменяется от 40 до 60° в зависимости от трудности разрушения пород и параметров наконечника (табл. 3.2).

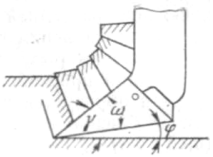


Рис. 2.22. Схема рабочего органа рыхлителя

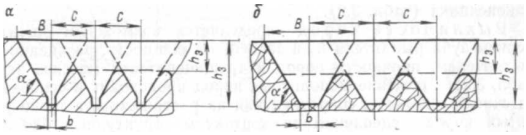


Рис. 2.23. Схемы механического рыхления пород: *а – вязких монолитных; б – хрупких трещиноватых; в – ширина реза поверху*

Рыхлимость пород определяется возможным заглублением зуба рыхлителя h_3 и зависит от мощности, развиваемой рыхлителем, прочности пород и трещиноватости массива (см. табл. 2.10). Рыхление монолитных пород происходит в основном за счет преодоления сопротивления их растяжению, а трещиноватых пород – сцепления по контактам структурных блоков. В результате их отрыва породы интенсивно разрушаются в пределах заглубления зуба (рис. 2.23, *б*). При естественной трещиноватости или развитой слоистости пород, а также при увеличении мощности рыхлителя эффективность механического рыхления возрастает.

Под воздействием рабочего органа рыхлителя в горных породах возникает сложное напряженное состояние, представляющее собой комбинацию сил сжатия и растяжения. Как в мо-

нолитных, так и в трещиноватых массивах при рыхлении нарушается связность горных пород, характеризующаяся величиной сцепления $К_м$.

Как показали испытания агрегата Д-652 АС, проведенные СГИ, устойчивое рыхление обеспечивается лишь в том случае, если напряжения, создаваемые на рабочем органе, превышают на 10–30 % величину сцепления горных пород:

$$\tau_р = (1{,}1 \div 1{,}3)К_м.$$

Величина напряжений, создаваемых на рабочем органе, зависит от значения усилия на крюке базовой машины, глубины рыхления и конструктивных размеров зуба рыхлителя. В свою очередь, усилие на крюке связано со скоростью рыхления, тяговой характеристикой базовой машины.

Учитывая это, основные параметры – скорость и глубина рыхления – не могут приниматься произвольно, а должны рассчитываться по тяговой характеристике базовой машины. Для бульдозерно-рыхлительного агрегата Д-652 АС оптимальная техническая скорость рыхления изменяется в пределах 0,5–1,1 м/с. Дальнейшее уменьшение или увеличение скорости приводит к неэффективному использованию мощности базовой машины.

Рыхление породного массива производится при параллельных смежных проходах рыхлителя на горизонтальной или наклонной площадке. В результате создается слой разрушенной породы. При рыхлении наклонными слоями (до 20°) максимальное использование тяговых усилий достигается при рабочем движении его под уклон и холостом перегоне машины вверх. Рыхление горизонтальными слоями производится при рабочих проходах рыхлителя по челноковой схеме.

Расстояние между смежными проходами *С* устанавливается из условия обеспечения требуемой кусковатости и достаточной глубины рыхления массива. Между смежными прорезями в нижней части сечения образуются «целики» – зоны не разрыхленной породы, затрудняющие выемку горной массы (см. рис. 2.23). Глубина эффективного рыхления h_3 меньше заглубления зуба h_3 и составляет $(0{,}5 – 0{,}7)/h_3$. В связи с этим целесообразны

дополнительные перекрестные проходы рыхлителя перпендикулярно или диагонально первоначальным проходам для разрушения целиков и обеспечения лучшей кусковатости горной массы. Расстояние между перекрестными проходами C может быть увеличено относительно величины C на основании практики рыхления.

Рыхлимость породы зависит от взаимного направления рыхления и системы трещин. Наиболее эффективно рыхление поперек направления основной трещиноватости. При рыхлении слоистых полускальных пород наиболее сложным является первоначальное заглубление зуба. Для облегчения заглубления многократным проходом рыхлителя или взрывным способом создают «передовой врез» на необходимую глубину поперек намечаемых параллельных проходов рыхлителя.

Параметры механического рыхления определяются по величине возможного заглубления зуба h_3 (см. табл. 2.10).

Таблица 2.10

Классификация горных пород по рыхлимости

Горные породы	Показатель трудности разрушения пород $П_р$	Акустические характеристики пород *		Рыхлимость пород	Угол наклона стенок прорези α, градус	Техническая скорость рыхления $v_р$, м/с	Возможное заглубление зуба рыхлителя Д-652А С $h_з$, м
		$v_К$, м/с	$A_i = \frac{\upsilon_м^2}{\upsilon_к^2}$				
Плотные породы с включением валунов, каменный уголь, сцементированная щебенистая масса, разрушенные сланцы	0,5–2,2	600–1200	0,6–0,9	Легкорыхлимые	35–50	0,9–1,5	1–0,8
Мягкий известняк, сланцы, мергель, мел, опока, гипс, отвердевшие и мерзлые глины	2,2–4,5	1000–2000	0,6–0,9	Средней трудности рыхления	40–60	0,8–1,2	0,8–0,6
Сильнотрещиноватые прочные известняки, песчаники и сланцы	2,2–4,5	2500–4500	Менее 0,4				
Среднетрещиноватые известняки, доломиты, песчаники, мрамор, глинистые сланцы	4,5-7,0	2000–2500	0,4–0,6	Трудно-рыхлимые	40–70	0,4-0,8	0,6–0,2
Мелкослоистые прочные известняки, железные руды, прослойки очень прочных пород мощностью до 0,2–0,3 м	4,5–7,0	4000–6000	Более 0,6				
Малотрещиноватые прочные известняки, песчаники и более прочные породы	Более 7	Более 3500	Более 0,6	Очень трудно-рыхлимые	50–70	–	–

*$v_К$ и $v_М$ – скорости распространения продольных упругих волн соответственно в породном куске и массиве; A_i – акустический показатель трещиноватости горных пород.

При полном использовании возможной глубины рыхления оптимальное расстояние между смежными проходами рыхлителя C_0 (м) определяется из условия достижения максимального объема подготовки горной массы за один проход.

Производительность рыхлителей в плотных породах достигает 1000–1500 м^3/ч; она существенно зависит от длины параллельных резов, которую целесообразно принимать в пределах 100–300 м.

Механическое рыхление позволяет облегчить раздельную выемку маломощных горизонтальных и наклонных (до 20°) пластов, эффективно регулировать кусковатость горной массы, уменьшить потери и разубоживание полезного ископаемого благодаря отсутствию развала и перемешиванию пород, минимально переизмельчать и разупрочнять горные породы (что особенно важно при добывании строительных горных пород), повысить безопасность работ. Вместе с тем при механическом рыхлении мощность разрыхленного слоя невелика, что затрудняет непосредственную экскаваторную выемку.

Рыхлители могут успешно применяться при разработке угля, фосфоритных и апатитовых руд, сланцев, песчаников, полускальных известняков, а также маломощных слоев скальных сильно- и чрезвычайно трещиноватых руд и пород. Механическое рыхление эффективно при гидравлической разработке тяжелых глинистых пород, разработке мерзлых пород и при вспомогательных работах (проведение дренажных канав, выкорчевание пней, рыхление недомыва и др.). Хорошее качество подготовки и небольшая мощность разрыхленного слоя позволяют вести выемку горной массы скреперами, бульдозерами и одноковшовыми погрузчиками.

2.2.3.5. Подготовка скальных пород взрывом

Взрывание широко применяется в карьерах для разрушения полускальных и скальных пород. Практически оно является единственным способом подготовки скальных пород к выемке. От организации и качества взрывных работ в значительной сте-

пени зависят производительность всего карьерного оборудования и затраты на горные работы [15].

Взрывные работы должны обеспечивать:

- требуемую степень дробления горных пород для последующих технологических процессов добычи и переработки;
- требуемые качество и сортность взорванного полезного ископаемого, достижение в необходимых случаях избирательного дробления пород различной трудности разрушения;
- минимальное отклонение отметок и размеров площадок и уступов, их формы от проектных значений;
- заданные форму и угол откоса уступа, возможность безопасного бурения и заряжания последующих скважин;
- проектные размеры и форму развала взорванных пород, удобные для выемочно-погрузочных работ, необходимую дальность и направление перемещения пород, особенно при сбросе в выработанное пространство;
- допустимое по нормам сейсмическое воздействие взрыва и максимальную сохранность окружающих сооружений и породного массива за конечными контурами карьера и соблюдение заданного угла погашения его борта;
- достаточный объем взорванных пород для бесперебойной и высокопроизводительной выемки и погрузки;
- высокую безопасность, экономичность и производительность горных работ.

Выполнение перечисленных технических требований к взрывам обеспечивается правильным выбором метода, параметров, порядка взрывания и организации взрывных работ, т. е. рациональной технологией взрывных работ, которая должна быть тесно увязана со всеми работами в карьере. Для этого необходимы составление проектов ведения буровых и взрывных работ, правильное заряжание скважин, применение требуемых условиями ВВ и др. Предпосылкой улучшения качества взрывного дробления является равномерное распределение ВВ в массиве.

Обычно взрывные работы в карьере ведут в две стадии. На первой стадии при отделении породы от массива осуществляется первичное дробление, на второй – дополнительное (вторичное) дробление негабаритных кусков, выравнивание подош-

вы уступа, обрушение нависей, заколов и т. д. Ведение работ в две стадии не следует считать нормальным: необходимость в этом возникает вследствие недостаточно эффективного проведения первичного взрывания.

Метод взрывания характеризуется размещением зарядов ВВ по отношению к объекту дробления, формой и размерами зарядов (рис. 2.24). Он определяет результаты и эффективность взрывов, и общую организацию работ по подготовке пород к выемке.

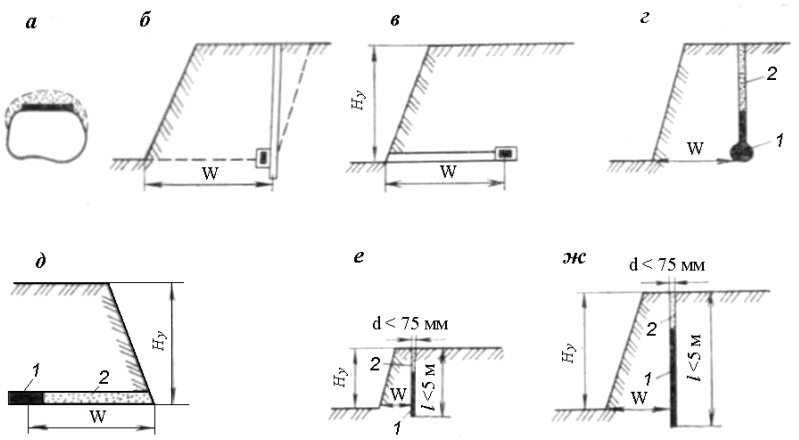


Рис. 2.24. Схемы зарядов ВВ:
а – накладного; б, в – камерного в шурфе и штольне; г – котлового; д – малокамерного; е – шпурового; ж – скважинного; 1 – заряд ВВ; 2 – забойка

2.2.4. Технологические основы буровых работ

2.2.4.1. Буримость горных пород

Цель бурения – создание в породном массиве скважин и шпуров. Бурение скважин – трудоемкий и дорогостоящий процесс, особенно в скальных весьма трудно- и трудноразрушаемых породах [4, 16].

Эффективность бурения взрывных скважин определяется скоростью бурения, которая зависит от:

- сопротивления породы разрушению под действием бурового инструмента (основной фактор);
- вида и формы бурового инструмента, способа его воздействия на забой скважины (вращательное, ударно-вращательное и т. д.);
- усилий и скорости воздействия бурового инструмента на забой скважины;
- диаметра скважины и, в ряде случаев, ее глубины;
- способа, скорости и тщательности удаления из забоя скважины буровой мелочи, препятствующей разрушению породы;
- общей организации и масштаба производства.

Все перечисленные факторы определяют технологические параметры буровых станков; последние выбирают в соответствии с *буримостью* данной породы. В свою очередь, буримость породы существенно зависит от вида бурового инструмента и других факторов, так как они определяют условия разрушения породы в забое: характер развиваемых сжимающих и скалывающих усилий, крупность и форму отделяемых от забоя частиц породы и т. п.

В качестве физико-технической основы сопоставления пород по буримости (зависящей только от свойств пород) принимается относительный показатель трудности бурения породы $П_б$, устанавливаемый из следующих предпосылок:

1 решающими при разрушении породы посредством бурения являются предельные значения сопротивления пород различным видам сопротивления (Па) при сжатии $\sigma_{сж}$, сдвиге $\sigma_{сдв}$. Сопротивление пород растягивающим усилиям $\sigma_{раст}$ для бурения можно не учитывать. При ударном бурении преобладает разрушение от усилий сжатия, при вращательном – от усилий скола. При относительной оценке пород по трудности бурения степень участия в разрушении сжимающих и скалывающих усилий можно принимать равной;

2 при определении скорости бурения трещиноватость породного массива в первом приближении можно не учитывать

(она учитывается при определении показателей прочности породы по образцам);

3 так как разрушение возможно только при постоянной очистке забоя скважины от буровой мелочи, необходимо учитывать при оценке буримости плотность (кг/м^3) породы γ.

При указанных предпосылках $П_б$ может быть определен из эмпирического выражения

$$П_б = K_1 (\sigma_{сж} + \sigma_{сдв}) + K_2 \gamma g,$$

где K_1 и K_2 – эмпирические коэффициенты.

Все горные породы (табл. 2.11) в соответствии с величиной $П_б$ классифицируются на 25 категорий по буримости с подразделением их на пять классов:

Таблица 2.11

Классификация пород по относительному показателю трудности бурения $П_б$ (для учебных расчетов)

Класс пород	Породы	$K_1 (\sigma_{сж}+\sigma_{сдв})$	$K_2 \gamma g$	$П_б$
Легкобуримые	Бурые и каменные угли, плотные глины, гипс, соли, мергель, песчанистые, сланцы, неплотные известняки, мергель глинистый, сланцы углистые, аргиллиты и алевролиты средней плотности	0,3–3,5	0,7–1,5	5,1–10
Средней трудности бурения	Сланцы, известняки, алевролиты, аргиллиты, слабо сцементированные песчаники, апатито-нефелиновые руды, перидотиты, доломиты и доломитизированные известняки, выветрелые габбро, плотные песчаники, сиениты, вторичные кварциты, доломитизированные известняки с пропластками песчаников	4,3–8,5	1,4–1,7	

продолжение табл. 2.11

Трудно-буримые	Окварцованные известняки, диориты, габбро, окремнелые известняки, доломиты, диориты, гранодиориты, вторичные кварциты, средние граниты и другие труднобуримые абразивные породы	9,2–13	1,7–2,5	10,1–15
Весьма труднобуримые	Граниты, граннто-гнейсы, роговики, скарны, кварциты, габбро, диабазы, граносиениты, гранодиориты	14–18	2–3	15,1–20
Исключительно труднобуримые	Базальты, диориты, джеспилиты, андезиты и другие, весьма труднобуримые и высокоабразивные породы	19–23	2–4	20,1–25

Примечание. $\sigma_{сж}$, $\sigma_{сдв}$ выражаются в МПа; γ – в кг/м^3; g – в м/с^2.

I класс – *легкобуримые* ($П_б$=1÷5); категории 1, 2, 3, 4, 5;

II класс – *средней трудности бурения* ($П_б$=5,1÷10); категории 6, 7, 8, 9, 10;

III класс – *труднобуримые* ($П_б$ =10,1÷15); категории 11, 12, 13, 14, 15; IV класс – *весьма труднобуримые* ($П_б$=15,1÷20); категории 16, 17, 18, 19, 20; V класс – *исключительно труднобуримые* ($П_б$ =20,1÷25); категории 21, 22, 23, 24, 25.

Породы с показателем $П_б$ >25 относятся к внекатегорным.

Использование показателя $П_б$ упорядочивает и облегчает технологические расчеты буровых установок, их мощности, режима и технической скорости бурения в конкретных горно-геологических условиях.

Эффективность термического (огневого) бурения горных пород определяется в первую очередь склонностью их к хрупкому термическому разрушению, зависящей от структуры, текстуры, и физико-технических свойств пород. Они определяют необходимые для разрушения породы тепловой поток и температуру. Количественно термобуримость характеризуется пока-

зателем термобуримости $П_{тб}$ (см^3/Дж) и температурой разрушения $T_р$ (°С) (по А.П. Дмитриеву):

$$П_{тб} = 4{,}19\beta E/(\sigma_р c K_{пл});$$

$$T_р = 1{,}5\sigma_{сж}(1 - \nu)/\beta E,$$

где β – коэффициент линейного теплового расширения породы 1/°С; E – модуль Юнга, МПа; c – объемная теплоемкость породы, Дж/(см^3-°С); $K_{пл}$ – коэффициент пластичности породы; ν – коэффициент Пуассона.

Показатель $П_{тб}$ определяет объем разрушенной породы, приходящейся на единицу количества тепла. Высокие показатели $П_{тб}$ (табл. 2.12) и большая техническая скорость огневого бурения достигаются в породах, имеющих кристаллическую структуру с плотным контактным цементом, массивную текстуру, незначительное количество низкоплавких минералов.

Таблица 2.12

Классификация горных пород по термобуримости

Класс породы	Породы	$П_{тб}$
I	Хорошо термобуримые (граниты, безрудные кварциты)	0,1–0,2
II	Термобуримые (железистые кварциты, песчаник)	0,06–0,095
III	Труднотермобуримые (магнетитовые руды, руды цветных металлов, мрамор)	≤0,05

Для кварца, микрокварцита, железистых кварцитов $T_р \leq 400 \div 450$ °С, для гранито-гнейса $T_р = 500 \div 600$ °С.

С увеличением трещиноватости массива эффективность огневого бурения резко снижается даже при хорошо термобуримых породах. Это объясняется возможностью свободного теплового расширения отдельных структурных блоков в забое скважины, уменьшением теплопроводности и упругопрочностных характеристик таких пород.

2.2.4.2. Виды бурения и их технологическая оценка

Бурение скважин и шпуров на карьерах производится специальными породоразрушающими (буровыми) машинами, разделяемыми на две группы:

- механического воздействия на забой скважины (ударное, вращательное и ударно-вращательное бурение);
- физических методов воздействия на забой скважины (термическое, гидравлическое, взрывное бурение и др.).

Ударное бурение осуществляется станками ударно-канатного и шарошечного бурения.

Станки ударно-канатного бурения широко применяли на карьерах для бурения взрывных скважин диаметром 200–300 мм до начала 60-х годов. В настоящее время они полностью заменены более производительными станками шарошечного и пневмоударного бурения и применяются только для бурения водопонизительных и других технологических скважин диаметром 300–600 мм и глубиной 60 м и более, а также для специального бурения при добывании блоков камня [11, 17].

Пневматические бурильные молотки (ручные и колонковые) применяются для бурения шпуров диаметром 32– 40 и 50–75 мм в скальных породах. Ручные иногда, а колонковые всегда используются в сочетании с пневмоподдержками, колонками, самоходными каретками.

Станки шарошечного бурения в последние двадцать лет получили наибольшее распространение (ими производится 70 % объема буровых работ) при бурении скважин диаметром 160–320 мм и глубиной до 35 мм в породах с $П_б$>5. Основные их достоинства – высокая производительность (20–150 м/смену), непрерывность процесса бурения, возможность его автоматизации; недостатки – большая масса станков и малая стойкость долот в труднобуримых породах.

Вращательное бурение скважин осуществляется станками шнекового, алмазного и дробового бурения. Бурение шпуров в породах с $П_б$=1÷2, в основном в негабаритных кусках, может производиться электросверлами.

Станки шнекового бурения широко применяют (22 % объема буровых работ) для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 125–160 мм и глубиной до 25 м в породах с $П_б$=1÷5, главным образом на угольных карьерах (уголь, аргиллиты, мягкие известняки) и при разработке непрочных строительных пород (мергель, мягкий известняк и др.). Производительность их 15÷120 м/смену. Станки характеризуются простотой эксплуатации, при их работе обеспечиваются благоприятные санитарно-гигиенические условия.

Станки алмазного и дробового бурения применяют главным образом для бурения разведочных скважин (в особо вязких абразивных породах), т. к. позволяют получать керн. Станки эти относительно легкие и маломощные (производительность 5–40 м/смену). Бурение осложняется большим числом спускоподъемных операций.

Ударно-вращательное бурение станками с погружными пневмоударниками применяется для бурения скважин диаметром 100–200 мм и глубиной до 30 м при разработке строительных горных пород с $П_б$=5÷20, в гидротехническом строительстве, на рудных карьерах производственной мощностью до 4 млн. м^3/год, а также при вспомогательных работах на крупных рудных карьерах (заоткосах бортов, выравнивание подошвы уступов и др.). Эти станки целесообразно применять и при бурении высокоабразивных весьма и исключительно труднобуримых пород с $П_б$>20. Производительность их составляет 10–35 м/смену. Затраты на обуривание 1 м^3 породы в 1,5–2,5 раза выше, чем при шарошечном бурении пород при $П_б$<15. Буровые станки конструктивно просты; возможно многошпиндельное бурение. Основные их недостатки: малая стойкость буровых коронок, низкая производительность и большое пылеобразование.

Термическое (огневое) бурение вследствие его избирательности получило распространение при бурении скважин диаметром 250–360 мм и глубиной до 17–22 м главным образом в весьма и исключительно труднобуримых кварцсодержащих породах ($П_б$=16÷25; $П_{тб}$>0,1). Оно может успешно применяться в породах с $П_б$=10÷15. Хрупкое разрушение пород происходит в

результате нагрева забоя скважины сверхзвуковыми раскаленными струями и появления термических напряжений, превышающих предел прочности минерального образования.

Возможность термического расширения диаметра заряжаемой части скважин (до 400–500 мм) позволяет сократить объем бурения в сильнотрещиноватых породах за счет увеличения расстояния между скважинами. Производительность в хорошо термобуримых породах достигает 12–15 м/ч. В трудно термобуримых породах этим способом эффективно расширение скважин, пробуренных шарошечными станками.

Станки вибрационного бурения находятся пока на стадии испытаний; достоинства их – относительно небольшая масса, простой буровой инструмент, возможность бурения скважин в разном направлении, высокая производительность.

Несмотря на создание и внедрение новых физических и комбинированных видов бурения, в ближайшие годы механическое разрушение горных пород при бурении в первую очередь станками шарошечного бурения останется определяющим.

Технология бурения обусловливает последовательность выполнения операций для образования скважин. При обуривании блока породного массива в общем случае выполняются следующие операции: установка станка на заданной отметке, непосредственно бурение, наращивание бурового става по мерс углубления скважины, разборка бурового става, замена изношенного инструмента, переезд станка к отметке следующей скважины. Бурение скважины является прерывным процессом и включает ряд повторяющихся операций.

Техническая скорость зависит от буримости горной породы, конструкции и типа бурового инструмента, нагрузки на буровой инструмент, частоты вращения его, способа и условий удаления буровой мелочи.

Режим бурения характеризуется величиной развиваемых усилий, частотой ударов и вращения рабочего инструмента и удалением буровой мелочи. Каждый вид бурения характеризуется своими возможными параметрами режима бурения.

2.2.5. Технологическая оценка основных видов выемочного оборудования

Выемка и погрузка, как правило, производятся одной машиной или одним комплексом машин. В практике открытых горных работ используют различные виды выемочного оборудования с широким диапазоном технологических качеств [19].

Удельный вес затрат на выемочно-погрузочные работы в общих затратах на открытую разработку составляет 15–40 %.

Карьерные выемочные машины по принципу действия разделяются на оборудование цикличного и непрерывного действия, а по функциональному признаку – на выемочно-погрузочные и выемочно-транспортирующие машины.

К выемочно-погрузочным машинам относятся все экскаваторы, а к выемочно-транспортирующим – скреперы и бульдозеры. Одноковшовые погрузчики в зависимости от выполняемых функций относятся к выемочно-погрузочным или выемочно-транспортирующим машинам.

К оборудованию цикличного действия относятся одноковшовые экскаваторы (лопаты, драглайны) и выемочно-транспортирующие машины, а к оборудованию непрерывного действия – многоковшовые экскаваторы (роторные цепные), различного рода гребковые машины и др. (табл. 2.13).

Таблица 2.13

Максимальные показатели применяемого выемочно-погрузочного оборудования

Оборудование	Емкость ковша, $м^3$	Высота разрабатываемого уступа, м	Показатели трудности экскавации пород		Допустимый размер куска, м	Дальность перемещения породы, м	Паспортная производительность, $м^3/ч$
			$П_{э.м.}$	$П_{э.р.}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
Погрузочно-транспортирующие машины							
Колесные скреперы	40	0,5[1]	4	3	0,4	1500	500
Бульдозеры:							
гусеничные	15[*2]	0,7[*1]	8	7	1,5	70	800[*3]
колесные	15[*2]	0,7[*1]	6	5	1,0	100	1000[*3]
Одноковшовые погрузчики	33	15	6	7	2,0	1500	1200[*3]
Выемочно-погрузочные машины с жестким закреплением рабочего органа							
Прямые мехлопаты	153	57	12	16	4,0	123	8200
Обратные мехлопаты	4	8	7	8	0,8	15	350
Струги	6[*2]	10	8	–	0,8	10	600
Цепные экскаваторы	4,5	66	9	–	0,4	190	9300
Роторные экскаваторы	6,3	75	16	–	0,5	180	10000
Роторно-гребковые машины	–	30	–	12	1,0	50	1000
Обвало-погрузочные машины	–	30	7	–	0,8	30	500
Шнекобуровые машины	1,6[*4]	–	3[*5]	–	–	85	250
Буровые комбайны	3,0[*4]	–	3[*5]	–	–	250	300
Выемочно-погрузочные машины с гибкой подвеской рабочего органа							
Драглайны	170	85	8	10	2,0	160	7600
Канатные скреперы	12	30	3	2	0,4	300	150
Башенные экскаваторы	14	100	4	3	0,7	500	250

[*1] Толщина стружки.

[*2] Объем призмы волочения.

[*3] При дальности перемещения 5–7 м.

[*4] Диаметр скважин, м.

[*5] Показатель трудности бурения породы $П_б$.

Техническая возможность и эффективность использования того или иного вида выемочного оборудования определяются, в первую очередь, экскавируемостью пород, а также типом разрабатываемых месторождений, способом выемки (валовый или раздельный), механизацией смежных процессов (подготовка породы к выемке и транспортирование), климатическими условиями и другими факторами.

Колесные скреперы экономичны при выемке мягких и механически разрыхленных плотных и полускальных пород ($П_э$<3) при дальности транспортирования до 2–3 км. В настоящее время они применяются при разработке строительных горных пород и россыпей, а также на вспомогательных работах. Большегрузные скреперы могут успешно применяться на вскрышных работах и в мощных карьерах, особенно в период строительства. Недостатки скреперов: сезонность выемки мягких пород, сравнительно небольшой срок службы, резкое снижение производительности с увеличением длины транспортирования, кусковатости (более 40 см) и обводненности (более 10–15 %) экскавируемых пород.

Бульдозеры, характеризующиеся мобильностью, маневренностью, высокой проходимостью и простотой конструкции, широко используются на вспомогательных работах. В качестве выемочных машин применяются при разработке россыпей, строительных горных пород и сложноструктурных залежей. Эффективность бульдозерной выемки ограничивается экскавируемостью пород ($П_э$<5 при мощности бульдозеров до 180 кВт) и расстоянием перемещения 100–200 м.

Одноковшовые погрузчики имеют высокую мобильность, небольшие размеры, меньшую металлоемкость на 1 м^3 емкости ковша и в 1,5–2 раза меньшую стоимость по сравнению с экскаваторами той же производительности. Погрузчики с грузоподъемностью ковша до 40 т эффективны при выемке мягких и разрушенных пород ($П_э \leq 5$) и их перемещении на расстояние до 80–700 м на карьерах производственной мощностью 1–5 млн. т/год.

Прямые механические лопаты верхнего черпания характеризуются высоким усилием копания (до 0,3–0,5 МПа), большим числом типоразмеров (емкость ковша E=0,25÷100 м^3 и более) и прочностью рабочего оборудования. Это обусловливает возможность эффективного применения их для выемки мягких, плотных и разрушенных пород ($П_э \leq 8$) с последующей погрузкой в транспортные средства в различных горных, климатических и гидрогеологических условиях. В стопорном режиме прямыми мехлопатами можно вести выемку пород практически любой экскавируемости. Основной недостаток мехлопат – пре-

рывность (цикличность) рабочего процесса: на собственно экскавацию (черпание) затрачивается лишь 20–30 % общего времени цикла. Увеличение же мощности экскаватора ведет к резкому росту его массы. Этот недостаток менее характерен для лопат с гидравлическим приводом, созданных в настоящее время.

Драглайны благодаря гибкой подвеске рабочего органа обеспечивают большую дальность перемещения породы. Это позволяет эффективно использовать мощные драглайны для выемки и перевалки мягких и разрушенных пород ($П_э \leq 6$) в выработанное пространство, возведения насыпей, проведения траншей. Нижнее черпание позволяет разрабатывать драглайнами обводненные породы и подводные участки. Широко применяются драглайны для вторичной перевалки пород на отвалах, а также на вспомогательных работах (зачистка, проведение канав и др.). Поскольку напорное усилие у драглайнов отсутствует, эффективность выемки разрушенных пород (по кусковатости и связности) зависит от массы и емкости их ковшей. При увеличении емкости с 6 до 15 м^3 область применения драглайнов по экскавируемости пород расширяется с $П_э$=4 до $П_э$=6.

Цепные многоковшовые экскаваторы используют для выемки мягких и плотных пород ($П_э$<3). Вследствие этого выемка сезонная даже в районах с мягким климатом. Достоинства: высокая удельная производительность на 1 т массы экскаватора (на 20–30 % выше, чем у одноковшовых), большая высота уступа, непрерывность и безударность загрузки транспортных средств, что позволяет снизить коэффициент тары вагонов, а также широко применять высокопроизводительные ленточные конвейеры. Недостатки: использование рабочего органа для перемещения породы по забою до пункта разгрузки, что обуславливает большой износ направляющих устройств и ковшовой цепи, увеличивает энергоемкость процесса н снижает развиваемое усилие копания.

У роторных экскаваторов разделение функций выемки и транспортирования породы снижает по сравнению с цепными массу экскаватора на единицу производительности, позволяет увеличить усилие копания до 1,0–2,1 МПа и уменьшить расход электроэнергии. Повышенные усилия копания и широкий диа-

пазон регулирования толщины стружки позволяют экскавировать плотные и слабые мерзлые породы ($П_э$<10). Эффективно осуществляется роторными экскаваторами раздельная выемка. Недостатки: сезонность работы при нормальных усилиях копания, большие динамические колебания роторной стрелы у крупных моделей, затрудненность борьбы с налипанием на рабочий орган и конвейерные ленты экскавируемых влажных и вязких глин.

2.2.6. Карьерные грузы и средства их перемещения

2.2.6.1. Общие сведения

Сущность открытой разработки заключается, прежде всего, в перемещении вскрышных пород и полезного ископаемого из забоев к пунктам их складирования или приема, которое обычно производится в четыре последовательные стадии. Первая стадия охватывает перемещение горной массы в процессе подготовки к выемке (например, при взрывании), вторая – при выемочно-погрузочных работах, третья – в процессе собственно транспортирования, четвертая – в процессе складирования [4, 18].

На отвалах и складах принимаемую горную массу с помощью специального оборудования перемещают к пунктам конечного размещения. В ряде случаев (например, при транспортировании полезного ископаемого от забоев вагонами МПС) четвертая стадия перемещения отсутствует. Отдельные стадии могут объединяться с другими, например, при перевалке породы экскаватором в выработанное пространство карьера.

Основные карьерные грузы – вскрышные породы и полезное ископаемое. Вспомогательные карьерные грузы – взрывчатые вещества, путевые материалы (балласт, шпалы и др.), детали и узлы горных машин, смазочные материалы, снег в зимнее время и др. Для перемещения этих грузов, как правило, используют специальные транспортные средства.

Различают карьерный, цеховой и внешний транспорт.

Ведущий, *карьерный транспорт* обеспечивает перемещение горной массы от забоев до пунктов приема, а также достав-

ку вспомогательных грузов в карьер. *Цеховой транспорт* горно-обогатительных комбинатов служит для перемещения полезного ископаемого на дробильно-сортировочных и обогатительных фабриках в соответствии с принятой технологией переработки сырья. Задача *внешнего транспорта* – перемещение полезного ископаемого после обогащения или со складов к местам потребления продукции. На ряде угольных карьеров и карьеров строительных горных пород кондиционное полезное ископаемое средствами внешнего транспорта, не принадлежащими карьеру, перемещают от забоев непосредственно потребителю.

Характерные особенности карьерного транспорта:

- массовость и односторонняя сосредоточенная направленность основных карьерных грузов (до десятков, иногда сотен миллионов тонн горной массы в год);
- относительно короткие расстояния перемещения (от нескольких десятков метров до 20 км);
- высокие удельные показатели грузооборота при сравнительно ограниченном числе транспортных средств, значительная грузонапряженность путей и дорог, быстрая оборачиваемость подвижного состава;
- значительная плотность (от 1 до 5 т/м^3), повышенная прочность и абразивность, неоднородная кусковатость перемещаемой горной массы, ударные воздействия при погрузке и разгрузке;
- жесткая зависимость остальных технологических процессов на карьере от надежности работы транспорта – их объединяющего звена;
- большой удельный вес технологических простоев подвижного состава в транспортном цикле (погрузка и разгрузка горной массы, профилактический осмотр и т. д.);
- нестационарность пунктов погрузки горной массы и разгрузки вскрышных пород, что обусловливает систематическое переустройство транспортных коммуникаций на уступах в карьере и на отвалах;
- большая крутизна подъема (спуска) горной массы из карьера;

- сложная организация перемещения полезного ископаемого при его раздельной выемке и усреднении;

- зависимость местоположения карьерных транспортных коммуникаций от элементов строения залежей и стесненность площадок карьерных путей;

- высокий удельный вес затрат на транспортирование горной массы в затратах на добычу полезного ископаемого (обычно не менее 40 %, в отдельных случаях – до 65–75 %).

Указанные особенности определяют основные требования к карьерному транспорту:

расстояние перемещения карьерных грузов, в особенности вскрышных пород, должно быть по возможности кратчайшим;

транспортные коммуникации в целом и их отдельные участки должны быть по возможности стационарными, требующими минимума переустройства в период эксплуатации;

на одном карьере желательно использовать минимальное число видов транспорта и типов транспортных средств для облегчения их взаимозаменяемости, организации эксплуатации и ремонтов;

вместимость и прочность транспортных средств должны соответствовать мощности выемочно-погрузочных и разгрузочных средств, а также комплексу физико-технических свойств перемещаемых пород, характеризующих трудность их транспортирования;

применяемый транспорт должен обеспечить надежность работы, минимальные простои основного оборудования и возможно большую степень поточности процессов перемещения;

выбранный транспорт должен обеспечить безопасность работ и минимальные затраты на открытую разработку месторождения. Возможны случаи, когда увеличение стоимости транспортирования обеспечивает снижение затрат на разработку месторождения в целом за счет экономии по другим процессам, изменения объемов добычных и вскрышных работ и их распределения во времени.

На карьерах используются почти все известные виды и технические средства перемещения грузов. Каждый вид карьерного транспорта имеет ряд характерных признаков.

По принципу действия транспорт делится на прерывный и непрерывный.

По способу перемещения груза, типу ходового и путевого устройства различают следующие виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, конвейерный, гидравлический, гравитационный и др. Из них первые два являются наиболее распространенными видами прерывного транспорта, следующие три – непрерывного.

Разделение по *роду тяги* характерно главным образом для колесных видов транспорта: железнодорожного и автомобильного. При первом применяют электрическую, тепловозную, дизель-электровозную, при втором – дизельную, дизель-электрическую и электрическую тягу.

По характеру работы различают транспортные средства подвижные и стационарные (канатные подъемники, подвесные дороги и др.).

По функциональному признаку различают самостоятельные и специальные виды карьерного транспорта. Самостоятельным транспортом (железнодорожным, автомобильным, конвейерным, гидравлическим) возможно перемещение горной массы от забоев до пунктов приема. Специальные виды транспорта (скиповой, гравитационный, канатные подвесные дороги и др.) могут использоваться только на отдельных участках перемещения груза (обычно для подъема и спуска из карьера), являясь звеном комбинированного транспорта.

Грузооборотом называют количество полезного груза (в тоннах или кубических метрах), перемещаемого в единицу времени (час, смену, сутки, год и т. д.). Понятие расчетного грузооборота следует относить к одному грузопотоку. Общий грузооборот карьера равен сумме грузооборотов отдельных грузопотоков.

Под *грузопотоком* понимается поток грузов определенного качества, характеризуемый направлением, сравнительно устойчивым во времени, и определенным объемом перевозок. Разовые и эпизодические перемещения в одном направлении грузопотока не составляют.

2.2.6.2. Характеристика горных пород по трудности транспортирования

Экономическая эффективность и производительность средств карьерного транспорта зависят от соответствия их физико-техническим характеристикам перевозимых пород, вместимости транспортных сосудов и ее использования, скорости и расстояния перемещения. Широкий диапазон свойств пород поразному влияет на трудность их транспортирования. Ряд свойств пород не остается неизменным в процессе транспортирования. Вместе с тем целесообразно выделить и сопоставить характеристики пород, оказывающие основное влияние на трудность их перемещения.

В качестве физико-технической основы сопоставления пород по сопротивлению перемещению (зависящему только от свойств пород) при выборе средств карьерного транспорта и для последующих технологических расчетов принимается *относительный показатель трудности транспортирования породы* $П_т$, устанавливаемый из следующих предпосылок:

на выбор транспортных средств, степень использования их геометрической вместимости и износостойкость основополагающее влияние оказывают плотность, прочность и кусковатость перемещаемой породы;

на трудность разгрузки породы, связанную с налипанием и примерзанием к рабочим поверхностям транспортных средств, решающее влияние оказывают содержание глинистых частиц и влажность породы;

степень налипания и примерзания, а, следовательно, выбор средств их предотвращения и очистки или снижение эффективной вместимости транспортных средств зависят от времени транспортирования породы и температуры воздуха.

При указанных предпосылках величина $П_т$ может быть определена из эмпирического выражения

$$П_т = K_1\gamma + K_2 d'_{ср} A + K_3 WnBC,$$

где γ – плотность породы в образце, кг/м^3; $d'_{\text{ср}}$ – средний размер кусков породы в транспортном сосуде, м; $A = 1 + 0{,}1\sigma_{\text{сдв}}$; $\sigma_{\text{сдв}}$

– сопротивление породы сдвигу (в образце), МПа; W – влажность перевозимой породы (в долях единицы); n – содержание в породе глинистых частиц (в долях единицы);

$B = 1 + \lg(T+1)$; T – продолжительность транспортирования породы, ч;

$C = 1–0{,}025t$; t – температура воздуха, °С (учитывается только при $t \leq 0$ °С); K_1, K_2, K_3 – эмпирические коэффициенты.

Все транспортируемые горные породы по величине $П_т$ подразделяются на пять классов:

I класс – *весьма легкотранспортируемые* ($П_т \leq 2$);

II класс – *легкотранспортируемые* ($2 < П_т \leq 4$);

III класс – *средней трудности транспортирования* ($4 < П_т \leq 6$);

IV класс – *труднотранспортируемые* ($6 < П_т \leq 8$);

V класс – *весьма трудно транспортируемые* ($8 < П_т \leq 10$).

Породы с $П_т > 10$ относятся к внекатегорным.

2.2.6.3. Технологическая оценка видов карьерного транспорта

Железнодорожный транспорт экономичен главным образом в карьерах средней и большой производственной мощности по горной массе (10–100 млн. т в год и более), глубиной до 400–500 м при расстояниях перемещения от карьера более 2–3 км для перемещения практически всех видов пород. Он применяется на крупнейших карьерах СНГ: Сарбайском, ЮГОКа (Кривбасс), Лебединском, Коршуновском железорудных; Коркинском, Экибастузских угольных; Ждановском, Кальмакырском, Норильском цветной металлургии и мн. др.

Достоинства железнодорожного транспорта: возможность использования любых видов энергии и типов локомотивов; небольшой расход энергии вследствие малого удельного сопротивления движению подвижного состава по рельсовым путям [(40÷70)Н на 1 т массы поезда]; возможность достижения большой производительности при любом расстоянии перевозок за счет пропуска по путям большого числа поездов и увеличения полезной массы поезда до 1500 т и более; возможность автоматизации движения транспортных средств и управления транс-

портными операциями; надежность работы в любых климатических и горно-геологических условиях; сравнительно небольшой штат поездных бригад, небольшие расходы на ремонт, содержание и амортизацию подвижного состава вследствие его прочности, надежность и значительный срок службы (до 20–25 лет); низкие затраты на 1 т·км перевозки (меньше чем при автомобильном и конвейерном транспорте в 4–6 раз).

Вместе с тем при применении железнодорожного транспорта предъявляются наибольшие требования к плану и профилю пути. Для его использования необходимы большая протяженность фронта работ на уступах (не менее 400÷500 м), кривые большого радиуса (не менее 120–150 м для широкой колеи), небольшие подъемы и уклоны путей (до 25–30, реже 40–55 %). Резко возрастают длина и объемы наклонных траншей, общий объем горных работ и срок строительства карьера; велики капитальные затраты на транспорт; усложняются доступ к забоям, организация движения; снижается маневренность транспортных средств, трудоемки процессы перемещения и содержания путей. Сложными являются технология и механизация отвальных работ.

Автомобильный транспорт применяют главным образом на карьерах малой и средней производственной мощности с грузооборотом до 25 млн. т в год, а на более крупных – в основном вместе с другими видами транспорта; возможный показатель трудности транспортирования пород $П_т$<8. При использовании автомобилей большой грузоподъемности (75–180 т) применение автотранспорта эффективно при грузообороте карьера 35–70 млн. т в год, иногда более.

На угольных карьерах в СНГ автотранспортом перевозится около 15 % горной массы; в большей степени он распространен на железорудных карьерах (примерно 40 % грузооборота), карьерах цветной металлургии и нерудных горных пород (Сибайский, Гайский меднорудные; Сорский, Каджаранский молибденовые; комбинат «Апатит» и др.).

Достоинства автотранспорта: автономность энергоисточника; гибкость, маневренность и взаимная независимость работы автосамосвалов, что упрощает схемы движения; невысокая требовательность к плану и профилю автомобильных дорог (до-

пускаются радиусы 20–25 м, подъем и уклоны до 80–100 %), что сокращает расстояния перевозок в 2–3 раза по сравнению с железнодорожным транспортом; меньшие объемы наклонных траншей и горно-строительных работ (до 40–50 %), а следовательно, меньшие сроки и затраты (на 20–25 %) на строительство карьеров. Отсутствие рельсовых путей и контактной сети упрощает организацию работ. Максимальная производительность экскаваторов может быть на 20–25 % больше их производительности при железнодорожном транспорте. Затраты на отвальные работы существенно уменьшаются. Повышается концентрация работ, увеличивается темп углубления горных работ.

Автотранспорт эффективен при строительстве карьеров любой производственной мощности, при разработке залежей сложных форм, малых размерах карьерных полей, сложной топографии поверхности; успешно применяется при раздельной выемке сложноструктурных залежей; может использоваться как вспомогательный и дополнительный к другим видам транспорта, особенно на горно-подготовительных работах.

Основные недостатки автотранспорта: экономическая эффективность только при небольших расстояниях перевозок (до 2– 5 км); высокая интенсивность движения (до 10–12 тыс. рейсов в сутки по главным автодорогам); большой парк машин и штат водителей; сравнительно высокие расходы на топливо и смазочные материалы; быстрый износ механических частей и двигателей при несовершенном покрытии дорог и крутых подъемах; высокая стоимость большегрузных автомашин, а также большие расходы на их ремонт и содержание (соответственно до 20–25 и 30–35 % от затрат на перевозки); жесткая зависимость от климатических условий и состояния автодорог; снижение производительности в период снегопадов, распутицы, дождей, туманов и гололеда; загазованность атмосферы карьеров при большой интенсивности перевозок.

В настоящее время созданы автопоезда и автомобильные полуприцепы грузоподъемностью 45–180 т. Такие средства целесообразно применять в неглубоких карьерах большой производственной мощности для транспортирования полезного иско-

паемого к стационарным приемным пунктам при расстоянии доставки от 2 до 7 км в зависимости от мощности машин.

Дизель-троллейвозы (грузоподъемностью 60–65 т и более) целесообразно применять в карьерах с грузооборотом 10–20 млн. т в год и более при значительных размерах их в плане и глубине 100 м и более, при расстояниях перевозок до 4 км. Основное преимущество дизель-троллейвозного транспорта – возможность преодоления больших подъемов (до 100–120°/оо).

Конвейерный транспорт применяется в СНГ преимущественно для перемещения мягких вскрышных пород (Никополь-Марганецкий бассейн, КМА), угля, на песчано-гравийных карьерах, карьерах огнеупорных глин и др. Практически конвейерами можно перемещать все породы, главным образом в мелкораздробленном состоянии ($П_т \leq 4 \div 5$).

Достоинства конвейерного транспорта: непрерывность и ритмичность перемещения грузов; возможность повышения производительности выемочно-погрузочного (на 25–30 % по сравнению с железнодорожным транспортом) и отвального оборудования; упрощение общей организации и снижение трудоемкости работ за счет выполнения одним агрегатом функций пути и подвижного состава; значительное уменьшение объемов транспортных и горно-капитальных работ, а также сокращение общей протяженности транспортных коммуникаций за счет подъема груза конвейерами под углом до 18–20° (при использовании специальных конвейеров – под углом до 30–60°); высокие скорости подвигания забоев; небольшой штат обслуживающего персонала; улучшение условий и повышение безопасности труда; сравнительно небольшой и равномерный расход электроэнергии; благоприятные условия для автоматизации и централизованного управления; высокая производительность конвейерных установок; возможность использования при пересеченном рельефе местности; простота устройства, перемещения и ремонта конвейеров.

Наиболее эффективен конвейерный транспорт при грузообороте 20–30 млн. т в год и более на карьерах с мощной толщей покрывающих мягких пород, а при выемке взорванных пород – на карьерах глубиной более 150 м при расстоянии пере-

мещения горной массы до 2,5–3 км (на пересеченной местности – до 10÷20 км и более).

Область применения конвейерного транспорта ограничивается его недостатками. Из-за интенсивного налипания на ленту велики простои при перемещении влажных и тиксотропных пород (глины, мела и др.). При доставке абразивных взорванных пород дорогостоящая лента быстро изнашивается (за 1–1,5 года). Размер кусков не должен превышать 25–35 % ширины ленты (соответственно 150–200 и 300–400 мм для узких и широких лент). Перегрузки с одного конвейера на другой ведут к увеличению износа ленты и вызывают необходимость установки большого числа приводов.

Большое влияние на работу конвейеров оказывают климатические условия, отрицательно воздействуют низкие температуры. При конвейерном транспорте затруднительна раздельная выемка в забоях. Требование прямолинейности ставов забойных конвейеров не позволяет применять их при разработке залежей сложной конфигурации, необходимы непрерывность и безударность погрузки.

На карьерах применяют стационарные, передвижные и самоходные наземные ленточные конвейеры, транспортно-отвальные комплексы с ленточными конвейерами (консольные отвалообразователи, транспортно-отвальные мосты и т. п.), конвейерные перегружатели, а также конвейеры на выемочно-погрузочных и специальных машинах.

При комбинированном транспорте последовательно используют для перемещения одного и того же груза (в одном грузопотоке) различные виды транспорта; автомобильный и железнодорожный (конвейерный, скиповой); автомобильный, гравитационный и железнодорожный; конвейерный и гидравлический; автомобильный и канатные подвесные дороги и т. д.

Таким образом, в карьерах отдельные виды транспорта могут использоваться самостоятельно, в комбинации друг с другом и совместно (параллельно) применительно как к раздельным грузопотокам, так и к одному грузопотоку полезного ископаемого или вскрышных пород.

В глубоких карьерах, разрабатывающих скальные породы, чаще всего рационально использовать в качестве сборочного звена автосамосвалы, а для подъема горной массы из карьера – железнодорожный транспорт, конвейерные или скиповые подъемники.

Комбинация автомобильного и железнодорожного транспорта с внутрикарьерной перегрузкой горной массы эффективна на нижних уступах высотой до 60 м на карьерах большой производственной мощности, где на верхних горизонтах используется железнодорожный транспорт. Расстояние перевозок автосамосвалами при этом обычно не превышает 1–2 км.

Сочетание автотранспорта со скиповым подъемом целесообразно в карьерах глубиной более 150 м с ограниченными размерами в плане при разработке крутых залежей в устойчивых вмещающих породах. Расстояние автомобильной откатки при этом сокращается до 0,8–1,5 км.

При перемещении взорванных пород средствами комбинированного автомобильного и конвейерного транспорта расстояние автомобильной доставки составляет до 1,5–2,5 км.

2.2.7. Основы безопасности ведения взрывных работ

К руководству взрывными работами допускаются лица, имеющие законченное горнотехническое образование или окончившие специальные курсы, дающие право на ответственное ведение взрывных работ. Обычно руководителем является начальник взрывного цеха. На карьере ответственным за производство взрывных работ является главный инженер или его заместитель. Одному лицу запрещается одновременно руководить взрывными работами и производить их. К взрывным работам допускаются лица не моложе 19 лет, имеющие «Единую книжку взрывника» и стаж горных работ не менее одного года. Для вспомогательных работ (забойка скважин и т. п.) эпизодически могут привлекаться специально проинструктированные рабочие.

Важным вопросом при проектировании взрывов является правильное установление размеров опасных зон по разлету породных кусков и сейсмическому воздействию взрыва.

При установлении радиуса опасной зоны r_p по разлету кусков определяется максимальная величина с. п. п. (W_{max}) для скважинного заряда проводимого взрыва (по его техническому проекту), а затем условная величина с. п. п. ($W_{усл.} = 0{,}7W_{max}$), которая является основой для выбора $r_р$.

Размеры опасных зон при взрывах (по данным треста «Союзвзрывпром» с показателем действия взрыва $n_в$=1) приведены ниже.

$W_{усл.}$, м	1,5	2	4	6	8	10	12	15	20	25
Радиус опасной зоны $r_р$, м:										
для людей	200	200	300	300	400	500	500	600	700	800
для механизмов	100	100	150	150	200	250	250	300	350	400

Величина $r_р$ должна быть для людей не менее 200 м при равнинном рельефе и не менее 300 м на косогоре.

Радиус (м) опасного воздействия на человека воздушной ударной волны взрыва

$$r_{в.ч.} = k_в \sqrt{Q_{з.о.}} ,$$

где k_B – коэффициент, учитывающий расположение зарядов относительно открытых поверхностей (k_B =10÷15); $Q_{з.о.}$ – общая масса одновременно взрываемых зарядов ВВ, кг.

Радиус воздействия воздушной ударной волны (м) на сооружение при полном отсутствии повреждений остекления

$$r_{в.с.} = 200\sqrt[3]{Q_{з.о.}} .$$

Границы опасных зон отмечаются специальными указателями, перед взрывом на этих границах выставляется оцепление.

После доставки ВМ на взрываемый блок на расстоянии 50 м от границы блока выставляется охрана и ограждение из флажков. При использовании в качестве СИ детонирующего шнура вне пределов этой зоны разрешается работа горного и транспортного оборудования.

Заряжают скважины взрывники под руководством горного мастера, проводящего при необходимости корректировку от-

дельных зарядов. В процессе заряжания производятся замеры глубины скважин, положения заряда и забойки, которые заносятся в паспорт (проект) взрыва. Заряженный блок считается готовым к взрыву после удаления оборудования за пределы опасной зоны, демонтажа близлежащих линий электропередач и проведения других мероприятий, обеспечивающих безопасность взрыва.

Взрывные работы на карьерах, как правило, проводят в определенные дни и часы. Для удаления людей за пределы опасной зоны дается предупредительный сигнал (обычно сирена). После проверки начальником взрывных работ готовности к взрыву дается боевой сигнал, по которому взрывники производят поджигание зажигательных трубок и удаляются за пределы опасной зоны или в укрытие (блиндаж). После взрыва они осматривают блоки и проверяют, нет ли отказов; затем подается сигнал отбоя. При больших объемах взрывов, а также в глубоких карьерах дальнейшие работы возможны после рассеивания газов, продолжающегося иногда несколько часов.

При суммарной массе взрываемых зарядов ВВ Q (кг) радиус сейсмоопасной зоны определяют по эмпирическим формулам:

при однократном взрывании

$$r_c = 9\sqrt[3]{Q};$$

при многократном взрывании

$$r_c = 25\sqrt[3]{Q}.$$

При взрывании отдельных зарядов ВВ с интервалом замедления между их группами не менее 20 мс радиус опасной зоны определяют по следующим формулам:

при однократном взрывании

$$r_c = 10\sqrt[3]{Q / n'};$$

при многократном взрывании

$$r_c = 29\sqrt[3]{Q / n'},$$

где n' – число групп.

Массы зарядов отдельных групп должны быть равны или отличаться не более чем на 20 % .

3. РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

3.1. Условия формирования нефтяных и газовых залежей

3.1.1. О происхождении нефти и газа

Единого мнения о происхождении нефти и газа в настоящее время пока не существует. Имеются гипотезы неорганического и органического происхождения нефти и газа [10].

Целый ряд ученых придерживаются гипотезы неорганического происхождения нефти и газа в недрах земли в результате химических реакций между водородом и углеродом в условиях высоких температур и давлений при отсутствии органических веществ.

Гипотеза органического происхождения нефти предполагает образование нефти и газа из останков животных и растительных организмов в условиях высоких температур при отсутствии кислорода.

В мелких застойных бассейнах в огромных количествах развиваются сине-зеленые водоросли, мелкие членистоногие и планктоновые организмы. Умирая, они вместе с пыльцой растений и некоторым количеством привнесенного мелкого минерального вещества падают на дно бассейна, образуя мягкие, иногда довольно мощные слои органического ила – сапропели. Постепенно сапропель и гумусовые отложения накапливаются на дне водоемов и в зависимости от давления, температуры, количества кислорода и минерализации воды происходит реакция гидролиза жиров, содержащихся в отложениях, и образуются жирные кислоты, глицерин и другие продукты, которые затем превращаются в углеводороды (метановые, нафтеновые, ароматические) и кислородные соединения (кетоны). Все эти соединения, растворяясь в массе жирных кислот, образуют гомогенную смолоподобную массу и вместе с минеральными веществами (песком, глиной) остаются на дне бассейна, покрываясь минеральными отложениями. Такую смолообразную массу можно назвать первичной нефтью. В процессе превращения в нефть органического материала в восстановительной среде проис-

ходят химические процессы, приводящие к увеличению содержания углерода и водорода и уменьшению содержания кислорода.

В настоящее время полагают, что для преобразования первичного органического материала в нефть необходима совокупность факторов – повышенных температур, давлений, деятельности бактерий, действия радиоактивных веществ.

3.1.1.1. Природные коллекторы нефти и газа

Породы, слагающие земную кору, в зависимости от их происхождения подразделяются на три группы: 1) изверженные, 2) осадочные, 3) метаморфические.

Изверженные породы образовались в результате охлаждения и затвердения излившейся из земли расплавленной магмы. Изверженные породы составляют основную массу земли. Характерное свойство изверженных пород – их кристаллическое строение, практически отсутствие пор. К изверженным породам относят гранит, сиенит, базальт, андезит, серпантины, диабазы, габбро-диабазы и др.

Осадочные породы сформировались в результате осаждения органических и неорганических веществ. Мельчайшие кусочки изверженных пород, а также останки животных и растительных организмов, осаждаясь, постепенно образовывали слои и пласты. Эти породы по способу образования подразделяют на обломочные, породы химического и органического происхождения.

Обломочные породы образовались в результате разрушения, переноса и отложения разрушенных пород. К ним относят галечники, конгломераты, брекчии, пески, песчаники, алевролиты, алевриты и глины.

Породы химического происхождения образовались вследствие химических процессов путем осаждения. В состав этих пород входят минеральные вещества, осадившиеся на месте залегания пород, но не перенесенные водой, подобно зернам песков и песчаников. К породам химического происхождения относят минеральные соли (хлориды, сульфаты и др.), карбонаты (известняки, доломиты и др.) и кремнистые породы. Для пород химического происхождения характерна кристаллическая структура.

К группе пород органического происхождения относят породы, образовавшиеся в результате жизнедеятельности организмов (известняки, яшмы, фосфориты, угли и др.). Характерной для этих пород является так называемая шламовая структура, где преобладают органические обломки.

Наиболее распространенными осадочными породами в природе являются пески, песчаники, известняки и глины.

В результате тектонических процессов под действием сильного давления раскаленных паров и газов происходит изменение состава и структуры ранее образованных изверженных и осадочных горных пород. Вновь образованные породы называются метаморфическими. Основные из них – кварциты, сланцы, гнейсы, мрамор, амфиболы и др. Метаморфические породы лишены окаменелостей, их кристаллически-зернистая структура сходна со структурой изверженных пород, а параллельно-линейное расположение минеральных зерен напоминает осадочные породы. Главным отличием метаморфических пород служит сланцеватость, т. е. свойство породы раскалываться на тонкие параллельные слои.

Промышленные запасы нефти и газа в основном содержатся в осадочных породах (песках, песчаниках, известняках и конгломератах). В изверженных и метаморфических породах нефть встречается редко и, как правило, промышленного значения не имеет.

Естественные скопления нефти и газа в недрах земли называются нефтяными или газовыми залежами. В том случае, когда порода-коллектор содержит только газ, залежь называется газовой. Если в залежи одновременно присутствуют и нефть, и газ в свободном состоянии, то такая залежь называется нефтегазовой. Нефтяная залежь или пласт обычно ограничиваются сверху и снизу непроницаемыми породами, глинами, которые не позволяют нефти и газу растекаться по всей толще земной коры. Толщина нефтяных (газовых) пластов колеблется от нескольких сантиметров до нескольких сот метров.

Совокупность нефтяных или газовых залежей, расположенных одна над другой или по площади простирания, находящихся на одном участке земной поверхности, называется нефтяными или газовыми месторождениями.

Число нефтяных или газовых пластов (залежей) на различных месторождениях может быть самым различным – от одного до нескольких десятков. В зависимости от этого месторождения могут быть однопластовыми или многопластовыми.

По условиям залегания нефтяные и газовые залежи подразделяют на пластовые, массивные литологически, тектонически и стратиграфически экранированные (рис. 3.1).

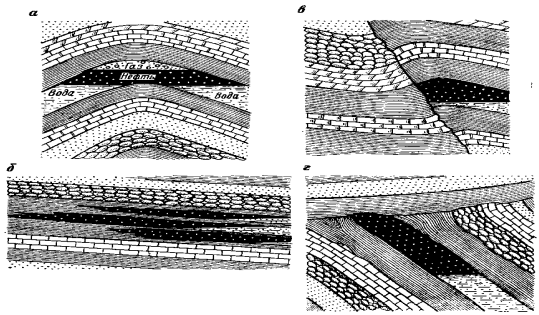


Рис. 3.1. Формы залежей

Наиболее распространенными пластовыми залежами являются сводовые, расположенные в сводовых частях антиклинальных структур (рис. 3.1, *а)*. Массивные залежи образуются в коллекторах большой толщины (иногда различного возраста и состава) и подстилаются подошвенными водами. Литологически экранированные залежи формируются обычно в толщах малопроницаемых пород, где имеются локальные пористые и проницаемые линзы, кавернозные зоны и т. д. (рис. 3.1, *б)*. Тектонически экранированные залежи располагаются на крыльях антиклиналей или моноклиналей и ограничены вверх по восстанию пласта тектоническими нарушениями (рис. 3.1, *в)* или стратиграфическими несогласиями (рис. 3.1, *г*).

3.1.1.2. Условия залегания нефти, газа и воды в залежах

Нефть, газ и газонефтяные смеси в зависимости от их состава, соотношения, давления и температуры могут находиться

в залежи в различных состояниях: в жидком, газообразном или в виде газожидкостных смесей.

При большом количестве газа в нефтяной залежи он может располагаться в виде газовой шапки в повышенной части структуры, часть жидких углеводородов нефти будет находиться в виде паров также в газовой фазе. При высоком давлении в пласте плотность газа становится весьма значительной и приближается к плотности легких углеводородных жидкостей. В этих условиях в сжатом газе растворяются значительные количества нефти, подобно тому как в (бензине или в других жидких углеводородах растворяются нефть и тяжелые битумы. Если же объем газа в залежи по сравнению с объемом нефти мал, а давление достаточно высокое, газ полностью растворяется в нефти, и тогда газонефтяная залежь залегает в однофазном (жидком) состоянии. Поэтому по условию залегания и количественному соотношению нефти и газа залежи подразделяются на нефтяные, газовые, газонефтяные (с большой газовой шапкой и нефтяной оторочкой), газоконденсатные.

На рис. 3.2 схематично изображено многопластовое нефтегазовое месторождение антиклинального типа. В этом месторождении пласт *А* – чисто газовый, пласты *Б* и *В* – нефтяные. Верхняя часть пласта *Б* заполнена газом. Нижние части пластов подпираются пластовыми водами.

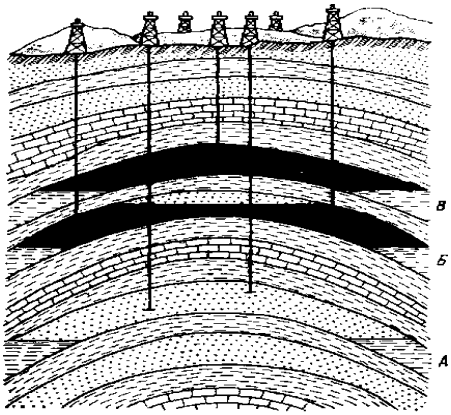


Рис. 3.2. Схема нефтегазового месторождения

Нефть, газ и вода в нефтяной залежи располагаются в соответствии со своими плотностями: в верхней части – газ, ниже – нефть и еще ниже – вода. Водяные части пластов, как правило, оказываются в десятки и сотни раз больше нефтегазовой части и простираются по площади на большие расстояния.

Кроме нефти и газа в нефтяной и газовой частях пластов содержится еще вода в виде тонких слоев на стенках тончайших пор и субкапиллярных трещин, удерживающихся силами капиллярного давления. Химический состав этой воды идентичен химическому составу подошвенных или краевых вод. Эта вода осталась в пласте в виде адсорбционных тонких слоев на поверхностях минералов в процессе формирования нефтяной и газовой залежей. Эту капиллярно удерживаемую и пленочную воду называют «связанной» или «остаточной».

Связанная вода неподвижна даже при значительных градиентах давлений. Поэтому, несмотря на то, что в пласте имеется большое количество связанной воды, добывающие скважины могут давать безводную нефть. Содержание связанной воды в нефтяных месторождениях составляет 10–30 % от суммарного объема порового пространства. Однако имеются месторождения, в основном газовые, с низкопроницаемыми глинистыми коллекторами, где содержание связанной воды может достигать даже 70 %. Установлено, что толщина тонких слоев связанной воды зависит от проницаемости коллектора, его природы и минерализации самой воды. С увеличением минерализации толщина тонких пленок уменьшается, с увеличением глинистости – увеличивается.

Количество связанной воды необходимо знать для оценки запасов нефти и газа в залежи. При большом содержании связанной воды в пласте снижается фазовая проницаемость продуктивного пласта для углеводородов и скважины работают с пониженными дебитами. Если неправильно подобраны источники водоснабжения, то при заводнении пластов в результате взаимодействия закачиваемой воды со связанной могут образоваться осадки минеральных солей, которые полностью или частично закупорят поровое пространство пласта. С учетом свойств связанной воды также выбирается качество глинистого раствора

для вскрытия продуктивного пласта бурением. Знание свойств связанной воды может помочь решению вопросов генезиса нефтяных и газовых месторождений.

Из-за различной пористости и проницаемости нефтяных и газовых коллекторов, а также вследствие капиллярного подъема воды в порах нет четкого раздела между водяной и нефтяной частями пласта. Содержание воды по вертикали постепенно изменяется – от 100 % в водоносной части до остаточной водонасыщенности в повышенных частях залежи. Эта часть продуктивного пласта называется переходной зоной. Толщина переходной зоны может достигать 3–5 м в зависимости от глинистости и проницаемости коллектора. Поэтому подсчет запасов нефти и газа проводится с учетом размеров переходной зоны исходя из пористости и проницаемости коллектора.

Жидкости и газ в пласте находятся под давлением, которое называется пластовым. От величины пластового давления зависят запас пластовой энергии и свойства жидкостей и газов в пластовых условиях. Пластовое давление определяет запасы газовой залежи, дебиты скважин и условия эксплуатации залежей.

Величина начального пластового давления зависит от глубины залегания продуктивного пласта. Если скважина заполнена жидкостью и не переливает (не фонтанирует), пластовое давление определяется как гидростатическое:

$$\rho_{пл} = H\rho g ,$$

где $\rho_{пл}$ – начальное пластовое давление, Па; H – глубина залегания пласта, м; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; g – ускорение свободного падения тела (g=9,81 м^2/с).

Если скважина переливает (фонтанирует), то пластовое давление можно определить по формуле

$$\rho_{пл} = H\rho g + \rho_{у} ,$$

где $\rho_{у}$ – давление на устье скважины, Па.

Если в скважине уровень жидкости не доходит до устья, пластовое давление определяется по формуле

$$\rho_{пл} = H_1\rho g,$$

где H_1 – высота столба жидкости в скважине, м.

В газовой залежи или газовой части нефтяного пласта пластовое давление практически одинаково по всей ее площади. В нефтяных залежах при значительных углах падения пластовое давление в различных частях залежи различно: на крыльях – максимальное, в сводовых – минимальное (рис. 3.3). Поэтому анализ изменения пластового давления во время эксплуатации залежи затрудняется.

Удобнее относить величины пластового давления в залежи к какой-либо одной плоскости. За такую плоскость принимают уровень моря или условную плоскость первоначального положения водонефтяного контакта. Давление в пласте, отнесенное к этой условной плоскости, называется приведенным пластовым давлением.

Приведенные пластовые давления определяются по формулам (см. рис. 3.3)

$$\rho_{1\ \text{пр пл}} = \rho_1 + x_1 \rho g;$$
$$\rho_{2\ \text{пр пл}} = \rho_2 + x_2 \rho g.$$

где ρ_1 и ρ_2 – замеренные в скважине пластовые давления; x_1 и x_2 – соответственно расстояния от первоначального изложения водонефтяного контакта до точки, где замерялось пластовое давление скважинным манометром.

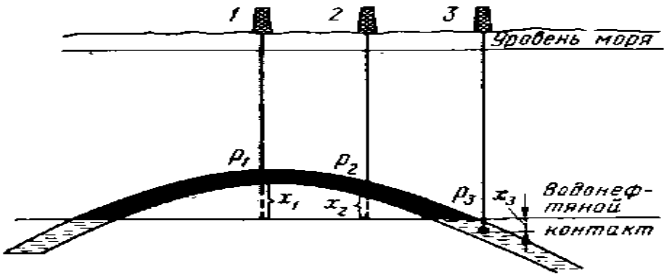


Рис. 3.3. Схема к определению приведенного пластового давления в залежи

Систематический контроль за изменением пластового давления позволяет судить о процессах, происходящих в пласте, и регулировать разработку месторождения в целом. Пластовое

давление в скважинах определяется с помощью скважинных манометров, которые спускают в них на скребковой проволоке.

С увеличением глубины залегания продуктивных пластов повышается и температура. Изменение глубины, которой соответствует повышение температуры на 1 °С, называется геотермической ступенью. В среднем она равна 34 м. Однако для различных месторождений геотермическая ступень неодинакова. Например, на месторождениях Северного Кавказа температура на глубине 1000 м достигает 90–100 °С, а в Баку геотермическая ступень составляет 50 м.

3.1.2. Системы разработки нефтяных месторождений

Под разработки нефтяных месторождений понимают управление движением нефти в залежах к нефтедобывающим скважинам путем надлежащего размещения и последовательного ввода всего заданного фонда нефтедобывающих и водо-, газонагнетательных скважин с целью поддержания намеченных режимов их работы при равномерном и экономном расходовании пластовой энергии.

Из всех возможных систем разработки необходимо выбирать наиболее рациональную, при которой месторождение разбуривается минимальным числом скважин, обеспечивающим заданные, планом темпы отбора нефти и высокую конечную нефтеотдачу при возможно минимальных капитальных вложе--ниях и эксплуатационных затратах. Рациональная система разработки месторождений предусматривает решение и осуществление следующих мероприятий.

1 Выделение эксплуатационных объектов на многопластовом месторождении и определение порядка их ввода в разработку. Эксплуатационный объект – продуктивный пласт или. группа пластов, разрабатываемых самостоятельной сеткой скважинах при обеспечении контроля и регулирования процесса их эксплуатации. Эксплуатационные объекты на многопластовом месторождении подразделяются на базисные (основные) и возвратные. В качестве базисных выбирают более изученные, вы-

сокопроизводительные и сравнительно крупные по запасам нефти пласты.

Возвратными объектами можно считать менее продуктивные и с меньшими запасами пласты, разработку которых предусматривается проводить путем возврата скважин с базисного объекта.

2 Определение сетки скважин, размещение их на эксплуатационном объекте и порядок ввода скважин в эксплуатацию. Размещение скважин на объектах может быть, равномерным на залежах с неподвижными контурами нефтеносности при наличии подошвенных вод или вообще при отсутствии пластовых вод. На месторождениях с перемещающимися контурами нефтеносности скважины на объектах размещаются рядами параллельно контурам нефтеносности (рис. 3.4).

Расстояния между скважинами и рядами скважин выбираются с учетом геологического строения эксплуатационного объекта с тем, чтобы охватить разработкой все участки продуктивных пластов, а также по экономическим соображениям. Необходимо стремиться разбуривать объекты редкой сеткой, с тем, чтобы не было интерференций между нефтедобывающими скважинами. Это обеспечит высокую производительность каждой скважины. Однако при этом из-за диалогической неоднородности продуктивных пластов возможно оставление невыработанных целиков нефти. Редкую сетку иногда вынуждены применять из-за большой глубины залегания продуктивных пластов, или сильно пересеченного, гористого заболоченного рельефа местности или в условиях моря.

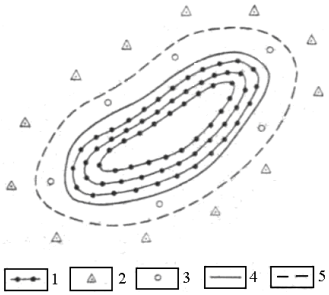


Рис. 3.4. Схема расположения скважин при перемещающихся контурах нефтеносности: *1 – нефтяные скважины, 2 – нагнетательные скважины, 3 – контрольные скважины, 4 – внутренний контур нефтеносности, 5 – внешний контур нефтеносности*

Порядок ввода нефтедобывающих скважин может быть одновременным по сгущающей или ползущей системам. Условно одновременным можно считать ввод скважин в эксплуатацию в. течение одного – трех лет разработки объекта, что не будет иметь существенного значения в общем его сроке разработки.

Сгущающую сетку скважин применяют при разбуривании и разработке крупных месторождений со сложным геологическим строением продуктивных пластов. При этом сначала скважины закладывают равномерно по редкой сетке, затем по данным бурения и гидродинамических исследований скважин уточняют геологические строения и коллекторские свойства пластов и намечают бурение последующих скважин. При этом возможно изменение сетки скважин в сторону увеличения или уменьшения их числа.

Ползущую систему разбуривания применяют при напорных режимах или на месторождениях со сложным рельефом местности. При напорном режиме первый ряд скважин располагают вдоль контура питания, а следующие ряды – вверх по восстанию при водонапорном режиме (см. рис. 3.4) или вниз по падению при газонапорном режиме.

3 Установление режима работы нефтедобывающих и водонагнетательных скважин сводится к планированию темпов отбора нефти и закачки воды в пласт для поддержания пластового давления на определенный промежуток времени. Дебиты и приемистости скважин могут быть самыми разнообразными и зависят, от геологического строения продуктивных пластов и принятых режимов работы залежей. Режимы работы скважин изменяются во времени в зависимости от состояния разработки залежей (положения контура нефтеносности, обводненности скважин, прорыва газа к ним, технического состояния эксплуатационной колонны, применяемого оборудования для подъема жидкости из пласта на поверхность, закачки рабочего агента в пласт (вода, газ) для поддержания пластового давления и др.).

4 Регулирование баланса пластовой энергии в залежах нефти проводится воздействием на пласт в целом. В настоящее время основной метод интенсификации добычи нефти – поддержание пластового давления искусственным заводнением пластов.

На отдельных месторождениях проводят также закачку газа в газовую шапку.

Заводнение пластов бывает: законтурное, приконтурное, внутриконтурное.

Законтурное заводнение применяют при разработке сравнительно небольших по размерам залежей. Нагнетательные скважины располагают за контуром нефтеносности на расстоянии 200–100 м и более (см. рис. 3.4).

Приконтурное заводнение применяют на месторождениях с низкой проницаемостью продуктивных пластов в водяной части залежи. Расстояние между нагнетательными скважинами и контуром нефтеносности – очень небольшое или же их располагают непосредственно на контуре нефтеносности.

Внутриконтурное заводнение применяют на крупном месторождении разделением его рядами нагнетательных скважин на отдельные эксплуатационные объекты, которые в дальнейшем эксплуатируются как самостоятельные залежи. Нагнетательные скважины располагают с учётом геологического строения месторождений в основном на высокопроницаемых участках. При этом источниками питания для краевых участков месторождения являются напор краевых вод и напор воды на линии искусственного заводнения рядами водонагнетательных скважин, расположенных около контура нефтеносности или несколько отодвинутых от него, а также рядами водонагнетательных скважин, пробуренных в нефтяной части пласта. Эти внутриконтурные водонагнетательные скважины являются источниками питания и для других отдельных нефтяных участков залежей.

Внутриконтурное заводнение позволяет значительно увеличить темпы отбора нефти и сократить сроки разработки крупных месторождений. Это объясняется тем, что одновременно можно эксплуатировать только два-три ряда нефтедобывающих скважин. При одновременной эксплуатации большего числа рядов скважин энергия напора пластовых вод или напора газовой шапки будет экранироваться первыми двумя-тремя рядами нефтедобывающих скважин, расположенных внутри контура нефтеносности, будут работать за счет энергии упругого сжатия пород продуктивного пласта и расширения жидкостей и раство-

ренного в ней газа, насыщающих коллектор, т. е. при режиме растворенного газа. Чтобы не допустить эксплуатации внутренних участков залежи при режимах растворенного газа, необходимо центральные участки залежи законсервировать на многие десятки лет.

В настоящее время применяется несколько видов внутриконтурного заводнения, отличающихся друг от друга расположением водонагнетательных скважин, последовательностью ввода их в эксплуатацию, темпами и последовательностью закачки воды в пласт и отборами нефти из нефтедобывающих скважин.

«Разрезание» залежей нефти рядами водонагнетательных скважин на площади самостоятельной разработки (рис. 3.5, *а)* и блоковое заводнение разрезанием залежей поперечными рядами водонагнетательных скважин на отдельные площади (блоки), в пределах которых размещается нечетное число нефтедобывающих скважин (рис. 3.5, *б*).

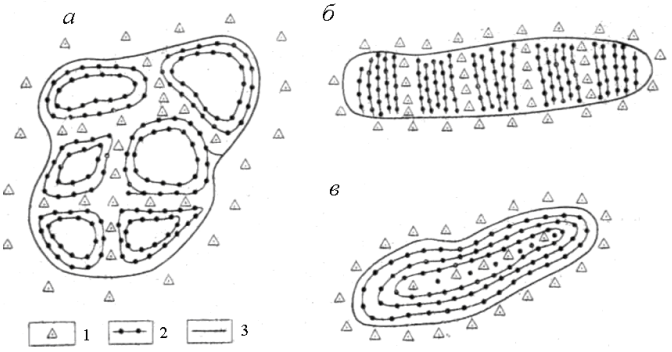


Рис. 3.5. Схемы внутриконтурного заводнения:
1 – нагнетательные скважины, 2 – нефтяные скважины, 3 – контур нефтеносности

При «разрезании» залежей на площади и блоки ширина их не превышает 4–5 км, а при пониженных проницаемости пластов и вязкости нефти в пластовых условиях – еще меньше.

Линии нагнетательных скважин намечают заранее с учетом геологического строения залежей или же скважины располагают по линиям наибольшего обводнения (прорыва воды) по высокопроницаемым участкам пласта. Обычно это становится очевидным в процессе разработки залежей. На участках высокой проницаемости происходит быстрое обводнение скважин первого ряда, затем – второго и третьего рядов. Такой же характер обводнения наблюдается и с противоположной стороны залежи. Тогда обводненные нефтедобывающие скважины переводят в разряд водонагнетательных. При необходимости на этой же линии бурят и новые нагнетательные скважины. Таким образом, вода как бы сама находит себе путь и отделяет одну - эксплуатационную площадь от другой. При блоковом заводнении залежей линии нагнетания обычно располагают вкрест простиранию площадей с учетом геологического строения продуктивных пластов.

Избирательное заводнение пластов (рис. 3.5, *в*). При этой системе обосновывается рациональное общее число скважин, которые располагают по равномерной сетке. Затем после проведения детальной корреляции разрезов залежи и гидродинамических исследований из числа пробуренных скважин выбирают скважины для нагнетания воды в пласт. При этом соблюдают следующие условия: водонагнетательные скважины должны иметь хорошую приемистость и хорошее сообщение с окружающими скважинами, но вместе с тем должны быть рассредоточены по площади с целью исключения возможности взаимовлияния с другими водонагнетательными скважинами.

При разработке месторождений с внутриконтурным заводнением дополнительно применяют очаговое заводнение в том случае, когда на отдельных участках залежи не наблюдается влияния этого заводнения и происходит падение пластового давления и снижение отборов нефти. Водонагнетательные скважины при очаговом заводнении выбирают из числа нефтедобывающих по тем же признакам, что и при избирательном заводнении. Одно из основных условий при очаговом заводнении – размещение водонагнетательных скважин в середине участка,

что обеспечивает, равномерное воздействие закачиваемой воды на окружающие нефтедобывающие скважины.

С целью интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи пластов в пласт также нагнетают газ или воздух. Благоприятными факторами закачки газа (воздуха) являются значительные углы наклона пластов и небольшая вязкость нефти. Однако закачка газа для поддержания пластового давления в настоящее время применяется реже, т. к. для этого нужно иметь источник газа и высоконапорные большой производительности компрессоры.

3.1.3. Основные принципы проектирования разработки нефтяных месторождений

Проект разработки нефтяного месторождения – это документ, на основе которого осуществляется разбуривание залежи и разработка нефтяного месторождения с годовыми отборами нефти и газа. Проектом разработки определяются в целом расходы на разработку месторождения с распределением капитальных вложений и эксплуатационных затрат по годам. Исходным материалом для составления проекта разработки являются подсчитанные запасы нефти и газа, которые высчитываются на основе геологического изучения месторождения (бурение первых разведочных скважин, данные пробной эксплуатации скважин и оконтуривания залежей и т. д.). При подсчете запасов определяют структуру месторождения, число пластов и пропластков и связь между ними, характеристику пород эксплуатационных объектов, их, непроницаемых перекрытий, свойства коллекторов и насыщающих их нефти, газа и воды, давление насыщения, размеры и конфигурацию залежей и др.

На основе пробной эксплуатации разведочных скважин определяют: пластовое давление, производительность скважин и гидродинамическую связь между скважинами и пластами, изучают режимы работы залежей, контуры нефтеносности, положение водонефтяных и газонефтяных контактов, толщину пластов в различных его зонах.

Общие геологические запасы нефти отдельных залежей и всего месторождения подсчитываются объемным методом:

$$Q_{\text{общ}} = Fh_{\text{эф}}m_{\text{эф}}k_{\text{н}}\rho\eta,$$

где F – площадь нефтеносности, м^2; $h_{\text{эф}}$ – эффективная нефтенасыщенная толщина пласта, м; $m_{\text{эф}}$ – эффективная пористость, $k_{\text{н}}$ – коэффициент нефтенасыщенности; ρ – плотность нефти в поверхностных условиях, кг/м^3; η – пересчетный коэффициент для перевода объема нефти из пластовых условий в поверхностные, равный $1/b$ (b – объемный коэффициент).

Промышленные или извлекаемые запасы нефти в залежах определяются по формуле

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{общ}}k,$$

где $Q_{\text{общ}}$ – геологические запасы нефти, т; k – коэффициент нефтеотдачи, доли единицы.

Коэффициент нефтеотдачи показывает, какую часть от общих запасов нефти можно извлечь из недр при существующих методах эксплуатации. Коэффициент нефтеотдачи зависит от геологических особенностей залежей и режимов их работы. Как было отмечено выше, он изменяется от 0,1 до 0,8.

После утверждения запасов нефти проводится комплексное проектирование рациональной системы разработки нефтяного месторождения. На крупных месторождениях, а также тогда, когда недостаточно .исходных материалов для проектирования, составляют технологическую схему разработки месторождения.

Комплексные схемы и проекты разработки включают следующие основные разделы:

1 геологическую характеристику месторождения и обоснование исходных данных для проектирования системы его разработки;

2 обоснование вариантов системы разработки месторождения;

3 определение технологических показателей разработки месторождения по рассматриваемым вариантам;

4 обоснование способов бурения, вскрытия пластов и освоения скважин по категориям (нефтедобывающим, водонагнетательным и др.);

5 обоснование методов воздействия на пласты (в т. ч. и новейших методов) с целью интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи пластов;

6 выбор способов эксплуатации скважин и их оборудования;

7 обоснование плана обустройства района и месторождения по сбору и подготовке нефти, газа и воды;

8 комплексное обоснование вариантов разработки месторождения;

9 выбор рациональной системы разработки месторождения по комплексу технико-экономических показателей;

10 обоснование способов контроля и регулирования эксплуатации месторождения при реализации проекта его разработки;

11 мероприятия по охране недр и окружающей среды;

12 заключение, в котором дается краткая характеристика рекомендуемого варианта комплексной схемы разработки месторождения.

Весь комплекс решаемых вопросов по вариантам должен быть оценен путем анализа технико-экономических показателей разработки с целью выбора рационального варианта.

Различают четыре стадии разработки нефтяной залежи: 1 стадия – нарастающая добыча нефти; 2 стадия – стабилизация добычи нефти; 3 стадия – падающая добыча нефти; 4 стадия – поздняя эксплуатация залежи.

При 1-ой стадии нарастания объема добычи нефти обеспечивается в основном введением в разработку новых нефтедобывающих скважин в условиях высоких пластовых давлений. Обычно в период первой стадии разработки добывается безводная нефть, наблюдается некоторое падение пластового давления. В случае быстрого падения пластового давления и его приближения к давлению насыщения начинают поддерживать пластовое давление закачкой воды или газа в пласт. После разбуривания основного фонда скважин начинается вторая стадия – стабилизация добычи нефти. Задача разработчиков состоит в том, чтобы продлить этот период разработки как можно дольше. Это достигается следующим: сгущением сетки за счет ввода ре-

зервного фонда скважин; увеличением нагнетания воды или газа в пласт для поддержания пластового давления, что достигается также сгущением нагнетательных скважин в зонах пониженных проницаемостей; проведением работ по воздействию на призабойные зоны пластов нефтяных и нагнетательных скважин с целью увеличения продуктивности нефтяных и нагнетательных скважин, изоляции притоков пластовых вод, крепления неустойчивых пород призабойной зоны пластов и др.

3 стадия – падающая добыча нефти – характеризуется увеличением обводненности скважин и большим падением пластового давления. Наблюдается увеличение газового фактора. Задача состоит в том, чтобы замедлить падение добычи нефти, что достигается теми же способами, что и во второй стадии разработки залежи. Скорость обводнения скважин при разработке залежей зависит от отношения вязкостей нефти и воды.

Исследованиями установлено, что если соотношение вязкости меньше 3, происходит более полное вытеснение нефти из пласта и не наблюдается преждевременного прорыва воды к нефтяным скважинам. Если отношение вязкости больше 3 – наблюдается опережающее движение воды и быстрое обводнение скважин. Поэтому проводят работы по уменьшению значения вязкости путем загущения закачиваемой воды в пласт, например добавкой в нее поли-акриламида (ПАА).

В течение 1,2 и 3 стадий разработки проектируют отбор основных запасов нефти, составляющей 80–90 % от промышленных запасов.

4 стадия характеризуется сравнительно низкими объемами отбора нефти и большими отборами воды. Этот период может длиться очень долго – до рентабельности разработки месторождения. Для увеличения коэффициента нефтеотдачи на четвертой стадии применяются вторичные методы добычи нефти по извлечению оставшейся пленочной нефти из пласта.

В конце 3 и в течение 4 стадий разработки возможна форсированная эксплуатация скважин с извлечением больших объемов воды. Поэтому необходимо предусмотреть возможность больших затрат на сбор, подготовку и закачку промысловых сточных вод в пласт.

При преждевременном прорыве воды в нефтяные скважины или ограничивают отбор из этой скважины, или ограничивают закачку воды в нагнетательные скважины. В случае увеличения прорыва газа в нефтяные скважины при газонапорном режиме рекомендуется их закрывать. Увеличение газового фактора по нефтяным скважинам при водонапорном режиме указывает на падение пластового давления в зоне этих скважин. Поэтому нужно или уменьшить отборы нефти по этим скважинам, или увеличить закачку воды в пласт на этом участке.

По данным определения приведенного пластового давления по скважинам ежеквартально строят карты изобар – карты равных пластовых давлений. Сопоставление карт обводненности и карт изобар позволяет судить о продвижении контуров нефтеносности.

Для определения полноты выработки продуктивных пластов между нефтяными и нагнетательными рядами скважин бурят оценочные скважины со сплошным отбором керна из продуктивного пласта, по которому в лабораторных условиях определяют промытость пород водой, т. е. остаточную нефтеносность. Затем эти скважины используют в качестве контрольных, оборудовав специальными приборами, называемыми пъезографами, или периодически замеряют забойные давления в них.

Для выявления зон слабой или улучшенной проницаемости отдельных участков пластов проводят гидродинамические исследования скважин на взаимодействие. В случае плохой проницаемости на этих участках бурят новые нефтяные или нагнетательные скважины, что обеспечивает большую полноту отбора нефти.

За скоростью продвижения контуров нефтеносности можно следить по изменению коэффициентов светопоглащений нефти и по кривым восстановления забойного давления. За единицу принят коэффициент светопоглащения такого вещества, при проникновении света через 1 см слоя которого интенсивность светового потока уменьшается в 2,718 раз. Установлено, что данный коэффициент чувствителен к изменению в нефти концентрации окрашенных веществ – смол, асфальтенов. Поскольку содержание смол и асфальтенов в нефти больше в зонах, рас-

положенных ближе к контуру нефтеносности, то по увеличению во времени коэффициента светопоглощения нефти, извлеченных из внутренних скважин, можно определить скорость движения нефти по каждому участку пласта.

3.1.4. Задачи вскрытия продуктивного пласта и заканчивание скважин

Разработка нефтяных и газовых месторождений связана с бурением большого числа нефтегазодобывающих и водогазонагнетательных скважин. Поэтому одним из самых ответственных моментов строительства скважин является ее заканчивание, включающее в себя вскрытие пласта бурением, крепление скважины обсадными трубами, ее перфорацию и соединение с продуктивным пластом, освоение и пуск скважины в эксплуатацию. Задачи вскрытия продуктивного пласта сводятся к следующему.

1. При вскрытии продуктивных пластов с высокими пластовыми давлениями необходимо предупредить возможность открытого фонтанирования. Это обычно достигается подбором промывочной жидкости (глинистого раствора) сопутствующей плотности, обеспечивающей превышение забойного давления над пластовым в среднем до 10 %.

2. При вскрытии пласта должны быть сохранены естественные фильтрационные свойства пород призабойной зоны. Давление столба промывочной жидкости, применяемой при вскрытии продуктивного пласта, бывает всегда выше пластового давления. Поэтому за счет перепада между пластовым и забойным давлениями возможно проникновение фильтрата или самого бурового раствора в призабойную зону пласта.

При проникновении фильтрата бурового раствора в поровое пространство может происходить снижение проницаемости пласта из-за образования гидратных пристенных слоев жидкости на поверхностях пор или разбухания глинистого материала, содержащегося в породе. При взаимодействии фильтрата бурового раствора с пластовыми водами или нефтью возможно выпадение нерастворимых осадков в порах пласта, а также образование стойких водонефтяных эмульсий. Поэтому буровые

растворы, применяемые при вскрытии пласта, должны иметь низкую водоотдачу, не вызывать набухания глинистого материала пород пласта и не давать осадков в результате взаимодействия их с пластовыми жидкостями, что достигается тщательным подбором рецептуры растворов с добавкой специальных химреагентов. При вскрытии высокопроницаемых пластов с низкими пластовыми давлениями происходит поглощение и самого глинистого раствора. Поэтому такие пласты вскрывают с применением растворов на углеводородной основе, или облегченных растворов путем их аэризации. Также проводят вскрытие пласта с газовой циркуляцией, используя компрессоры высокого давления и большой производительности.

Проникновение глинистого раствора в призабойную зону может происходить по трещинам, которые образуются в продуктивном пласте в результате возникновения на забое повышенных гидродинамических давлений при быстром спуске бурового инструмента. Поэтому при вскрытии продуктивного пласта бурением нельзя превышать скоростей спуска бурового инструмента выше критических, при которых происходит раскрытие существующих трещин или разрыв пласта вновь.

3. Должна быть обеспечена надлежащая полнота вскрытия пласта, гарантирующая длительную безводную эксплуатацию скважин и максимальное облегчение притока жидкости к забою. Это условие определяется литологическими и физическими свойствами продуктивных пластов и местоположением скважин на залежи. Например, на антиклинальной складке нефтедобывающая скважина не должна вскрывать пласт до подошвы, т. к. в противном случае при этом забой ее будет находиться в обводненной части залежи. При бурении водонагнетательной скважины, расположенной в законтурной части залежи, пласт следует вскрывать полностью, чтобы добиться высокой поглотительной способности. Если в подошве пласта нет воды, а скважина находится на значительном расстоянии от водонефтяного (ВПК) или газонефтяного контактов (ГНК), целесообразно вскрывать пласт в нефтяной части залежи на всю его толщину. Если нефтедобывающая скважина вскрыла газовую шапку, перфорацию скважины необходимо проводить с отступлением

от ГНК и забой ее оборудовать таким образом, чтобы нефть, притекающая в скважину, не увлекала газ из газовой шапки.

3.1.4.1. Конструкция скважин и оборудование их забоя

Скважины по своему назначению подразделяются на нефтедобывающие, газодобывающие, газо- или водонагнетательные и наблюдательные.

Конструкция скважины должна отвечать следующим требованиям:

1 устойчивость, стенок ствола и надежное разобщение нефтеносных газоносных и водоносных пластов друг от друга;

2 надежное сообщение ствола скважины с продуктивным пластом;

3 герметизация устья и направление извлекаемой жидкости в систему сбора и подготовки или нагнетания жидкости и газа в пласт;

4 возможность спуска в скважину подъемных средств для извлечения из пласта нефти или газа;

5 возможность проведения различных скважинных исследований и ремонтно-профилактических работ со спуском приборов и специального оборудования с целью обеспечения высоких добывающих характеристик скважин [12].

Для обеспечения устойчивости стенок скважин и разобщения пластов друг от друга в скважину спускают стальные трубы, называемые обсадными. Межтрубное пространство – образование между внешними стенками обсадных труб и стенкой скважины – заполняют цементным раствором под давлением. После затвердения раствора образуется цементный камень, который надежно разобщает пласты. В зависимости от свойств пород в разрезе и величины пластового давления в нефтегазоносных и водоносных пластах конструкция скважины может быть одно-, двухколонной и т. д. Последняя колонна называется эксплуатационной. В настоящее время в качестве эксплуатационных колонн для нефтяных месторождений применяют обсадные трубы диаметром 114, 127, 140, 146 и 168 мм с толщиной стенок 6–12 мм. Для высоконапорных газовых месторождений нередко

применяют эксплуатационные колонны и большего диаметра – 219 мм и более.

Скважина в зависимости от литологической характеристики продуктивных, пластов может быть оборудована с открытым или закрытым забоями (рис. 3.6).

Открытый забой применяется в том случае, когда продуктивный пласт представлен крепкими однородными породами (известняки, песчаники). Для этого скважину бурят до кровли продуктивного пласта, спускают эксплуатационную колонну с последующим ее цементированием, а затем продуктивный пласт вскрывают долотом диаметром несколько меньшим внутреннего диаметра обсадной колонны.

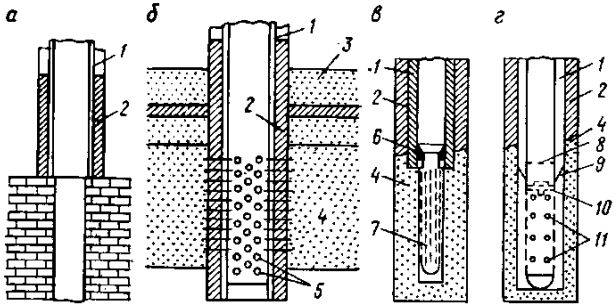


Рис. 3.6. Конструкции забоев скважин:
а – с открытым забоем; б – обсажены обсадными трубами; в – с щелевым фильтром; г –с заранее перфорированным фильтром с манжетной заливкой; 1 – обсадные трубы,. 2 – цементный камень, 3 – газоносный пласт, 4 – продуктивный пласт, 5 – перфорационные отверстия, 6 – уплотнение, 7 – щелевой фильтр-хвостовик, 8 – заливочное отверстие, 9 – манжета, 10 – место установки обратного клапана, 11 – отверстия в фильтре

Если продуктивный пласт представлен неоднородными породами с прослоями глин, песками, или неустойчивыми и слабосцементированными песчаниками, забой скважины выполняется закрытым. Для этого скважину бурят до проектной глубины, обсаживают эксплуатационной колонной с последующим

цементированием и избирательно перфорируют только против нефте- или газонасыщенных участков пласта.

Если породы продуктивного пласта представлены слабосце-ментиррванными песчаниками и алевролитами, продуктивный пласт вскрывают при открытом забое с последующим спуском специального фильтра-хвостовика с воронкообразным раструбом в верхней части. Фильтр имеет щелевые трапециевидные отверстия (0,75–3 мм), обращенные узкой стороной к наружной стороне хвостовика.

Также применяют конструкции перфорированным фильтром с манжетной заливкой. Для этого скважину бурят до проектной глубины, спускают эксплуатационную колонну с манжетой и заранее перфорированными трубами. Затем через специальные отверстия в колонне выше манжеты затрубное пространство заливают цементным раствором. С целью предупреждения попадания цементного раствора перфорированную часть труб перед цементированием заполняют песком или отделяют чугунным обратным клапаном, который после формирования за колонной цементного камня разбуривают, а песок вымывают.

В целом забой скважины должен обеспечивать высокий коэффициент гидродинамического совершенства скважины, что достигается применением конструкции скважины с открытым забоем или надлежащей избирательной перфорацией (16–20 отверстий на 1 м толщины пласта) скважин только против продуктивных пластов и пропластков. Кроме того, принятая конструкция забоя скважины должна обеспечивать возможность направленного поинтервального воздействия на призабойные зоны пласта с применением различных способов с целью повышения или восстановления их проницаемости. Эта цель более легко достигается на скважинах с закрытыми забоями (см. рис. 3.6).

Однако конструкция скважины со сплошной цементной заливкой имеет тот недостаток, что при цементировании фильтрат цементного раствора или сам цементный раствор может попасть в продуктивный пласт и ухудшить проницаемость пород пласта. Поэтому применяют цементные растворы с низкой или нулевой водоотдачей с высокой подвижностью в период всего процесса их закачки в скважину.

При разработке месторождений с неоднородными коллекторами для соединения изолированных участков пласта и увеличения области дренирования применяют многозабойные скважины (рис. 3.7) с основным вертикальным стволом и дополнительными наклонными стволами, расстояния от отметок забоев которых достигают десятков метров.

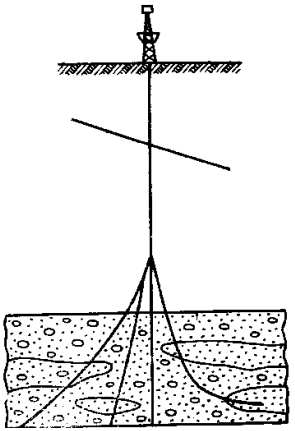


Рис. 3.7. Схема конструкции многозабойной скважины

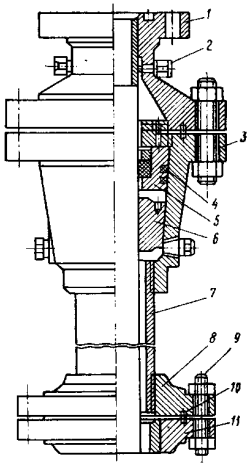


Рис. 3.8. Клиновая колонная головка ГКК

После спуска эксплуатационной колонны и ее цементирования скважина оборудуется специальным устьевым оборудованием (фонтанная арматура, устьевой сальник и др.). Для этого на верхнем обрезе эксплуатационной колонны имеется колонная головка различной конструкции.

В одноколонных скважинах с низкими пластовыми давлениями можно применять упрощенную колонную головку, которая соединяется с эксплуатационной колонной с помощью муфты. Эксплуатационная колонна подвешивается на хомуте, который ставится на верхнем срезе кондуктора. Межтрубное пространство между эксплуатационной колонной и кондуктором цементируется.

На глубоких скважинах с высоким пластовым давлением применяют колонные головки с клиновой подвеской труб (ГКК)

(рис. 3.8). Колонная головка состоит из корпуса *3,* клиньев *6* для подвески эксплуатационной колонны, пакера *5* с резиновыми уплотнительными кольцами *4* для герметизации межтрубного пространства, фланца *8* для установки головки на устье и патрубка *7,* предназначенного для вывода фланца катушки *1* на необходимую высоту. Пробки *2* закрывают отверстия в колонной головке и могут быть использованы для присоединения манометров. Для обеспечения герметичности в фланцевых соединениях применяются уплотнительные полуовальные металлические кольца *10* из специальной малоуглеродистой стали, которые вставляют в канавки фланцев *8, 11,* фланцы стягиваются болтами *9*.

3.1.4.2. Перфорация скважин

Для пробивки отверстий в обсадной колонне и соединения их с пластом применяются различные методы, перфорации скважин: пулевая, торпедная, кумулятивная и гидропескоструйная.

Пулевой перфоратор (ПП) длиной 1 м и диаметром 100 мм, заряженный спрессованным порохом и десятью стальными пулями, на каротажном кабеле спускают в заполненную глинистым раствором скважину, устанавливают против заданного интервала продуктивного пласта и проводят выстрелы. Глубина отверстий в породе не превышает 5–7 см. На основе стендовых испытаний и промыслового опыта установлено, что многие пули пулевого перфоратора застревают в колонне, в цементном камне и лишь только небольшое число их пробивает породы пласта.

Торпедный перфоратор (ТПК) отличается от пулевого тем, что в его стволы вместо пуль вставляют, снаряды диаметрами 27 или 37 мм. Эти снаряды пробивают обсадную трубу, проникают в продуктивный пласт, взрываются и создают в нем разветвленную сеть трещин, по которым в перфорационные отверстия притекает нефть или газ. Недостатком торпедной перфорации является то, что в стволе скважины образуются заусенцы и нарушается герметичность цементного камня в результате его растрескивания. Кроме того, как и при пулевой перфорации; многие

торпедные снаряды не пробивают обсадные трубы. Поэтому в настоящее время пулевая и торпедная перфорации редко применяются на промыслах.

В настоящее время перфорацию скважин в основном проводят с применением кумулятивных перфораторов (ПК), снабженных зарядами с конусной выемкой, которые позволяют фокусировать взрывные потоки газов и направлять их с большой скоростью перпендикулярно к стенкам скважины (рис. 3.9).

В кумулятивный перфоратор вставляют шашку из спрессованного порошкообразного взрывчатого вещества, которая имеет конусную выемку, облицованную металлической пластинкой. При взрыве заряда с помощью детонатора струя газа вместе с расплавленным металлом из облицовки прорывается со стороны вершины конуса нормально поверхности выемки и, концентрируясь, движется вдоль оси заряда с чрезвычайно большой скоростью, достигающей 10 км/с. За счет большого давления, порядка 3–5 тыс. МПа, и абразивного действия расплавленного металла в преграде образуются отверстия.

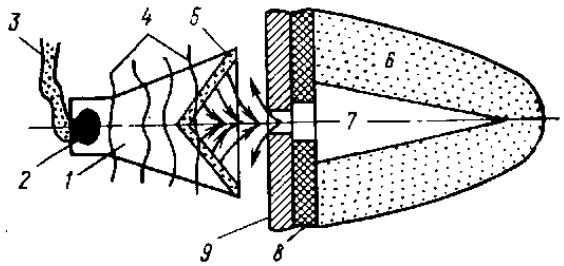


Рис. 3.9. Схема образования отверстия кумулятивным зарядом: *1 – заряд, . 2 – детонатор. 3 – кабель, 4 – зона распространения горения заряда, 5 – металлическая облицовка, 6 – коллектор, 7 – перфорационное отверстие в коллекторе, 8 –цементный камень; 9 – обсадная труба*

Установлено, что кумулятивный заряд массой 24 г пробивает обсадную трубу толщиной 12 мм, цементный камень за колонной и песчаники продуктивного пласта на глубину 200–250 мм. Увеличение заряда в 2 раза повышает эффективность перфоратора в 1,3–1,5 раза. Диаметры отверстий при ку-

мулятивной перфорации составляют 16–18 мм при глубине скважины до 2000 м. При увеличении глубины до 4000 м диаметр и длина отверстий уменьшаются более чем в 2 раза, что объясняется стесненными условиями движения затопленной в жидкости струи газов. Пробивная способность кумулятивного перфоратора также зависит от расстояния между перфоратором и стенкой скважины.

Кумулятивные перфораторы бывают корпусные и бескорпусные. Корпусные перфораторы выпускаются двух диаметров – 100 и 80 мм, в их стволы вставляют кумулятивные заряды. Выстрелы производят путем замыкания электрической цепи в установке, за один спуск делают 10–12 выстрелов.

Для бескорпусных перфораторов кумулятивные заряды делают в стеклянных или пластмассовых оболочках и устанавливают в круглые сквозные отверстия алюминиевой ленты. Бескорпусные перфораторы спускают в скважину на каротажном кабеле до заданной глубины. При выстреле стеклянные или пластмассовые оболочки полностью разрушаются. Бескорпусные перфораторы позволяют значительно увеличить массу кумулятивных зарядов, следовательно, и их пробивную способность.

В настоящее время созданы малогабаритные перфораторы, позволяющие перфорировать скважины через насосно-компрессорные трубы. Имеются кумулятивные перфораторы, спускаемые в неперфорированные скважины с заранее сниженными уровнями в насосно-компрессорных трубах. После прострела отверстий жидкость из пласта поступает в скважину, которая вступает сразу в эксплуатацию без проведения дополнительных спуско-подъемных операций. Эти перфораторы называются трубными.

Преимущества кумулятивной перфорации – это ее высокая пробивная способность, отсутствие заусенцев на каемках перфорационных отверстий и ненарушение герметичности цементного камня за колонной как между перфорационными отверстиями, так и между нефтегазоносными и водоносными пластами.

Существует также гидропескоструйный перфоратор (ГПП). Этот перфоратор (рис. 3.10) состоит из толстостенного корпуса, в который ввинчивается до десяти насадок из абразивностойко-

го материала (керамики, твердых сплавов) диаметрами отверстий 3–6 мм. Гидропескоструйный перфоратор спускают в скважину на насосно-компрессорных трубах. Для проведения перфорации скважины с поверхности бросают шар, который закрывает сквозное отверстие перфоратора. Затем с помощью насосных агрегатов АН-500 или АН-700 в скважину через насосно-компрессорные трубы закачивают жидкость с песком или глинистый раствор, при выходе которых из насадок развиваются огромной скорости абразивные струи. В результате за короткое время пробиваются отверстия в обсадных трубах, цементном камне и породах, ствол скважины соединяется с продуктивным пластом. В зависимости от диаметра насадок, их числа и скорости закачки глубина перфорационных отверстий достигает до 40–60 см. При этом не нарушается герметичность цементного камня за колонной и не изменяются свойства пород пласта у поверхности перфорационных отверстий.

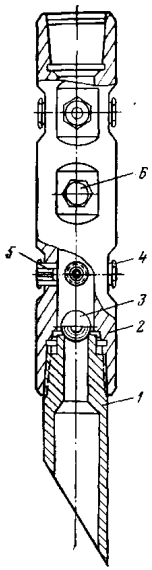


Рис. 3.10. Гидропескоструйный перфоратор:
1 – хвостовик-перо, 2 – корпус, 3 – шариковый клапан, 4 – держатель насадок, 5 – насадка, 6 – заглушка

Для перфорации скважин ГПП применяют кварцевый песок диаметром 0,3–0,8 мм. В качестве жидкости-песконосителя на

нефтяных и газовых скважинах используют углеводородную жидкость, на нагнетательных скважинах – воду. Концентрация песка в жидкости составляет 50–100 г/л в зависимости от вязкости жидкости-песконосителя и скорости прокачки.

При перфорации на устье скважины создается давление до 40 МПа. Темп прокачки смеси жидкости с песком составляет 3–4 л/с на одну насадку. При этом объемная скорость струи в насадке достигает 200–300 $м^3$/сут, а перепад давления – 18–22 МПа. Продолжительность перфорации одного интервала – 15–20 мин. После перфорации заданного интервала перфоратор поднимают и устанавливают на следующий заданный интервал и операция повторяется.

Разработаны конструкции гидропескоструйных перфораторов с установкой насадок под углом 2–3°, что позволяет перфорировать большей толщины пласт, а также предохраняет перфоратор от абразивного действия отраженной струи.

С применением гидропескоструйного перфоратора получают точечные кольцевые и продольные перфорационные отверстия в скважине. Продольные отверстия получаются за счет попеременного растягивания и сокращения труб при пульсации жидкости, закачиваемой поршневыми насосами. Для получения точечных отверстий над перфоратором устанавливают гидравлический якорь.

Гидропескоструйный перфоратор также применяют для выполнения ряда других работ в скважинах: срезание обсадных насосно-компрессорных и бурильных труб и извлечение их из скважины по частям; разрушение металла, случайно упавшего в скважину или оставленного в скважине в результате аварий, а также разрушение цементного стакана и твёрдых песчано-глинистых пробок в скважине; создание глубоких кольцевых и продольных щелей для проведения направленных гидравлического разрыва пласта и кислотной обработки и установления непроницаемых экранов в пласте; расширение призабойной зоны в необсаженной части ствола скважины и др.

Наиболее высокой пробивной способностью обладают гидропескоструйные перфораторы, затем – кумулятивные. Однако на промыслах в основном применяют кумулятивную перфора-

цию, что объясняется технологичностью процесса и сравнительно низкой стоимостью его осуществления по сравнению с ГПП. Высокая стоимость гидропескоструйной перфорации обусловлена необходимостью проведения дополнительных спускоподъемных операций с предварительным глушением скважин глинистым раствором или минерализованной водой, установкой противовыбросового оборудования и т. д.

3.1.4.3. Освоение скважины и пуск её в эксплуатацию

Под освоением скважины понимают проведение различных мероприятий по вызову притока жидкости или газа из пласта к забою скважины с суточным дебитом, близкий к ее потенциальному дебиту.

Приток жидкости из пласта к забою скважины происходит, когда пластовое давление больше забойного

$$p_{\text{пл}} > p_{\text{заб}} + p_{\text{доп}},$$

где $p_{\text{пл}}$ – пластовое давление; $p_{\text{заб}}$ – забойное давление; $p_{\text{доп}}$ – дополнительное давление, необходимое для преодоления гидравлических сопротивлений, которые возникают в перфорационных отверстиях и в фильтрационных каналах в результате закупоривания порового пространства призабойной зоны пласта.

Если скважина заполнена жидкостью плотностью ρ, а высота столба жикости H, неравенство можно записать в виде

$$p_{\text{пл}} > H\rho g + p_{\text{доп}}.$$

Следовательно, для удовлетворения этого неравенства нужно уменьшать H, p или $p_{\text{доп}}$, На практике для освоения скважин обычно, уменьшают $p_{\text{заб}}$ путем снижения уровня жидкости или ее плотности одним из описанных ниже способов.

1. Замена в скважине жидкости высокой плотности на более легкую жидкость. Этот метод обычно применяют на фонтанных скважинах. После вскрытия продуктивного пласта бурением или перфорацией в скважине остается глинистый раствор, который оказывает противодавление на продуктивный пласт. Для освоения и пуска скважины в эксплуатацию в нее

спускают насосно-компрессорные трубы, на устье устанавливают фонтанную арматуру и проводят вытеснение глинистого раствора в специальную емкость путем закачки воды через межтрубное пространство. Если заменой глинистого раствора на воду не удается снизить забойное давление ниже пластового, то воду в стволе скважины заменяют на нефть.

Если нефтяная залежь имеет высокое пластовое давление, скважина может начать фонтанирование даже при неполной замене глинистого раствора на воду.

Таким образом, этот метод позволяет плавно понижать забойное давление в скважине и постепенно разрабатывать поровое пространство призабойной зоны пласта, что очень важно для освоения скважин, вскрывших пласты с неустойчивыми породами.

2. Вызов притока с использованием энергии сжатого газа или воздуха. Сущность метода аэризации (рис. 3.11) заключается в том, что к межтрубному пространству скважины подключают передвижной компрессор или высоконапорную газовую линию от компрессорной станции. Из межтрубного пространства жидкость вытесняется газом или воздухом в насосно-компрессорные трубы. После достижения уровня жидкости в межтрубном пространстве башмака труб происходят прорыв газа в центральные трубы и газирование находящейся в ней жидкости. При этом плотность газожидкостной смеси понижается, уровень в подъемных трубах повышается до устья и происходит выброс. Для очистки порового пространства призабойной зоны от закупоривающего материала рекомендуется в течение некоторого времени продолжать работу компрессора.

При компрессорном способе возбуждения скважины в момент начала перелива газированной жидкости резко понижается забойное давление, что приводит к резкому увеличению притока жидкости из пласта в скважину. В условиях крепких пород (песчаников, известняков) это приводит к интенсивной очистке порового пространства от закупоривающего материала, а в условиях рыхлых пород – к разрушению призабойной зоны пласта.

Для достижения плавного пуска скважины проводят закачку через межтрубное пространство аэрированной нефти с при-

менением компрессора, прода-вочного агрегата и смесителя. После выброса газожидкостной смеси через выкидную линию в приемную емкость подачу жидкости постепенно снижают до полного ее прекращения. После начала фонтанирования прекращают и подачу газа.

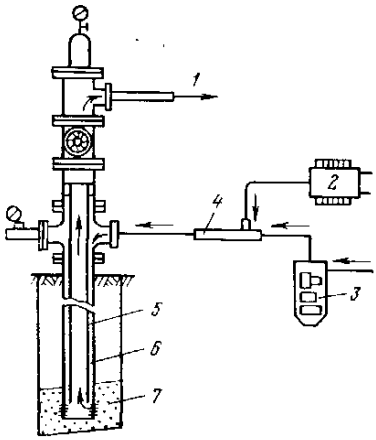


Рис. 3.11. Схема оборудования скважины для освоения методом аэризации: *1 – выкидная линия аэрированной жидкости; 2 – компрессор; 3 – насосный агрегат; 4 – смеситель (аэратор); 5 – НКТ; 6 – межтрубное пространство; 7 – продуктивный пласт*

Освоение скважин сжатым воздухом или газом в основном проводят с применением передвижных компрессоров УКП-80, ДК-10 производительностью 8 и 3,5–7 м^3/мин, при рабочих давлениях 8 и 20 МПа соответственно.

Необходимо отметить, что при освоении скважины сжатым воздухом возможны взрывы, так как при содержании углеводородного газа в смеси от 6 до 15 % получается гремучая смесь.

3.1.5. Фонтанная эксплуатация нефтяных скважин

3.1.5.1. Подъем газожидкостных смесей по вертикальным трубам

Приток жидкости к забоям скважин происходит под действием разности между пластовым и забойным давлениями. Если давление столба жидкости, заполняющей скважину до устья, меньше пластового, то скважина будет переливать на поверхность, т. е. будет фонтанировать. В зависимости от режима работы залежи фонтанирование скважины может происходить или за счет энергии гидростатического напора, или за счет энергии расширения газа, растворенного в нефти, или за счет той и другой энергий.

Фонтанирование скважины только под действием гидростатического напора происходит в том случае, когда давление на устье больше давления насыщения ($p_у > p_{Нас}$). При этом весь газ находится в растворенном состоянии в нефти, и забойное давление определяется как давление столба однородной жидкости, заполняющей скважину, по формуле

$$P_{заб.} = H\rho g + P_{тр} + p_у,$$

где $P_{заб}$ – забойное давление, МПа; H – глубина скважины, м; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $p_{тр}$ – гидравлические потери давления на трение при движении жидкости, МПа; $p_у$ – противодавление на устье, МПа.

Потери давления на трение можно определить по известной формуле Дарси-Вейсбаха

$$P_{тр} = \lambda \frac{L}{d} \frac{\upsilon^2}{2} P ,$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений; d – диаметр подъемных труб, м; υ – скорость движения жидкости в подъемных трубах, м/с; L – длина подъемных труб, м.

Численное значение λ определяется в зависимости от шероховатости труб и критерия Рейнольдса:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad при \quad Re = \frac{\upsilon d}{\nu} < 2320$$

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad при \quad Re > 2320,$$

где ν – кинематическая вязкость жидкости, м^2/с.

Забойное давление определяется из основного уравнения притока жидкости к забою скважины:

$$P_{заб} = P_{пл} - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \ ,$$

где Q – дебит скважины, м^3/сут; K – коэффициент пропорциональности (продуктивности), м^3/(сут-МПа); $p_{пл}$ – пластовое давление, МПа; n – показатель режима фильтрации жидкости в призабойной зоне пласта.

Подставляя значения в уравнение, можно определить давление на устье

$$P_y = P_{пл} - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} - H\rho g - \lambda \frac{H}{d}\frac{\upsilon^2}{2}\rho \ .$$

Если устье фонтанной скважины закрыто, то забойное давление равно пластовому

$$P_{заб} = P_{пл} - H \cdot \rho \cdot g + P_y \ .$$

В практике нефтедобывающей промышленности редко встречаются скважины, в которых подъем жидкости происходит только под действием гидростатического напора. Большинство фонтанных скважин работают одновременно как за счет энергии гидростатического напора, так и энергии расширения газа в нефти. Для таких скважин справедливо неравенство

$$P_y < P_{нас} < P_{заб} \ .$$

т. е. в нижней части ствола скважины до интервала, где давление равно давлению насыщения $P_{нас}$, движется однофазная жидкость, а выше – двухфазный поток (жидкость + газ).

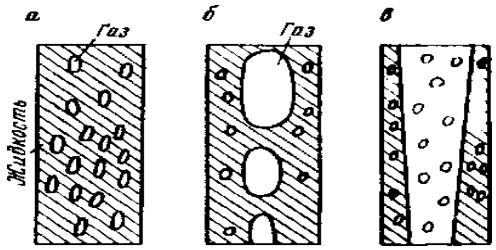


Рис. 3.12. Структура газожидкостной смеси при движении ее в подъемнике

Нередко фонтанная скважина эксплуатируется при забойном давлении ниже давления насыщения, при котором в скважине движется газожидкостная смесь. По мере подъема смеси изменяются ее плотность и соотношение объемов жидкости и газа в зависимости от давления, скорости движения смеси и диаметра подъемных труб. Такие же условия движения газожидкостных смесей наблюдаются и при газлифтной эксплуатации скважин.

Различают три режима движения газожидкостной смеси.

1 **Пузырьковый** режим (рис. 3.12, *а*), при котором жидкость, пронизанная мелкими пузырьками газа высокого давления, движется в нижней части подъемных труб. Пузырьки газа свободно перемещаются в жидкой фазе, практически не оказывая влияния на подъем жидкости.

2 **Снарядный** (пробковый) режим (рис. 3.12, *б*), при котором из жидкости выделяется значительное количество газа в виде крупных пузырьков, соизмеримых с диаметрами труб и имеющих удлиненную форму. Пузырьки газа чередуются с жидкостными перемычками. Снарядный режим в основном проявляется в средней части подъемных труб. По мере подъема смеси к устью скважины из жидкой фазы выделяется все больше и больше пузырьков газа, происходит их слияние, и размеры пузырьков увеличиваются. При этом режиме течения наблюдается значительная пульсация потока, и скважина работает неравномерно.

3 **Дисперсно-кольцевой** режим (рис. 3.12, *в*), при котором газообразная фаза образует ядро потока, а жидкая фаза движется

по стенкам труб. В ядре потока содержатся капли жидкости. Дисперсно-кольцевой режим проявляется в основном ближе к устью скважины, где наблюдаются наибольшее снижение давления и сравнительно большие скорости движения газожидкостной смеси.

При работе скважины в межтрубном пространстве устанавливается динамический уровень жидкости h_1. По давлению столба жидкости в этом пространстве определяется забойное давление. Для фонтанной скважины

$$P_{заб} = h_1 \rho g = L \rho_{см} g + P_{тр} \ ,$$

где h_1 – глубина погружения подъемных труб под динамический уровень; ρ и $\rho_{см}$ – соответственно плотности жидкости и газожидкостной смеси; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $P_{тр}$ – потери давления на трение, МПа.

Выразим потери давления на трение через высоту столба жидкости, $\mathrm{P}_{тр} = h_{тр} \rho g$. Тогда выражение перепишется так

$$h_1 \rho g = L \rho_{см} g + h_{тр} \rho g \, .$$

Разделив обе части последнего уравнения на ρ и L, получим

$$\xi = \frac{h_1}{L} = \frac{\rho_{см}}{\rho} + \frac{h_{тр}}{L} = \frac{\rho_{см}}{\rho} + h'_{тр} \, ,$$

где $\xi = h_1/L$ – относительное погружение подъемных труб или потери напора на единицу длины подъемных труб; $h'_{тр}$ – потери напора на преодоление сил трения (выраженные в высоте столба жидкости), приходящиеся на единицу длины подъемных труб.

Несмотря на простоту последнего равенства, теоретически весьма трудно определить $\rho_{см}$ и $h'_{тр}$, т. к. газ и жидкость поднимаются по трубам с разными скоростями. Установлено, что потери напора при движении газожидкостной смеси по вертикальным трубам зависят от многих величин: объемного расхода жидкости g, объемного расхода газа V, диаметра трубы d, а также от физических свойств жидкости и газа – плотности жидкости $\rho_ж$ и газа $\rho_г$, вязкости жикости $\mu_ж$ и газа $\mu_г$ и величины поверхностного натяжения на границе жидкость–газ σ.

Для скважин с дебитами, не превышающими 150–200 т/сут и газовыми факторами 100 $м^3/м^3$ и менее, потерями напора на трение можно пренебречь.

Плотность газожидкостной смеси

$$\rho_{см} = \rho_{ж}(1-\varphi) + \rho_{г}\varphi ,$$

где $\rho_ж$ и $\rho_г$ – плотности жидкости и газа при данных давлениях и температуре; φ – истинное газосодержание, т. е. отношение мгновенной площади сечения потока газа в трубе ко всей ее площади:

$$\varphi = \frac{F_г}{F_{ж} + F} ,$$

где $F_г$ и $F_{ж}$ – площади сечения потоков газа и жидкости в трубе; F – площадь сечения подъемных труб.

Закономерности изменения газосодержания устанавливают при помощи мгновенных отсечек потока или просвечиванием труб гамма-лучами на лабораторной установке.

Плотность газа в скважине можно определить на основе формулы Бойля – Мариотта

$$\rho_г = \frac{(p_1 + p_2)}{2} \cdot \frac{\rho_{го}}{P_0} ,$$

где p_1 и p_2 – давления на башмаке и устье подъемных труб, МПа; $\rho_{го}$ – плотность газа при атмосферном давлении P_0.

Многие авторы считают, что в большинстве случаев эксплуатация газожидкостных подъемников происходит в условиях снарядного режима. При этом режиме жидкость поднимается под действием движущей силы газа, оказывающего непосредственное давление на нее, и при трении газа о жидкость. Величина давления обусловливается работой по подъему смеси и потерями напора в подъемной колонне вследствие трения жидкости и газа о стенки труб и разных скоростей их движения. Газ движется быстрее жидкости, проскальзывает через нее. Поэтому эти потери называют потерями скольжения или потерями относительного движения.

Кроме отмеченных, имеются еще и потери вследствие изменения скорости движения при поступлении смеси в башмак подъемных труб и потери в подъемной колонне, вызываемые

ускорением движения смеси в результате расширения газа в области более низких давлений. Эти два вида потерь очень малы по сравнению с первыми двумя, поэтому ими можно пренебречь.

3.1.5.2. Оборудование фонтанных скважин

Оборудование фонтанных скважин подразделяют на подземное и наземное. К подземному оборудованию относят насосно-компрессорные трубы, из которых состоит фонтанный подъемник; к наземному – колонную головку, фонтанную арматуру и выкидные линии.

Колонна фонтанных труб, спускаемых в скважину, служит для подъема жидкости и газа на поверхность, предохранения колонны обсадных труб от коррозионного и эрозионного износа при добыче нефти, содержащей воду и песок, регулирования режима работы фонтанной скважины, предупреждения образования на забое столба воды или песчаной пробки, глушения скважины закачкой жидкостей глушения, промывки скважины и обработки призабойной зоны пласта с применением различных методов воздействия; предохранения обсадной колонны от высокого давления, возникающего при обработке скважин.

Для оборудования фонтанных скважин применяют бесшовные, т. е. цельнотянутые насосно-компрессорные трубы диаметром 38, 50, 63, 73, 89, 102 и 114 мм с толщиной стенок от 4 до 7 мм, длиной 5,5–10 м (в среднем 8 м). Трубы изготовляют из сталей групп прочности Д, К, Е, Л, М с высокими механическими свойствами.

Насосно-компрессорные трубы выпускают двух типов: с высаженными наружу концами и гладкие (одинакового размера по всей длине) (рис. 3.13).

Гладкие трубы неравнопрочные: прочность их в нарезанной части составляет 80–85 % прочности ненарезанной части. У труб с высаженными наружу концами прочность в нарезанной части равна прочности тела трубы в гладком месте.

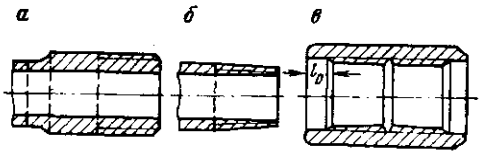


Рис. 3.13. Насосно-компрессорные трубы и муфта.
Трубы: а – с высаженными концами; б – гладко-стенные; в – соединительная муфта

В табл. 3.1 приведены предельные глубины спуска неравнопрочных и равнопрочных НКТ, изготовленных из высококачественной стали, при запасе прочности 1,5. Глубина спуска фонтанных труб в скважину зависит от давления насыщения, обводненности скважин и устойчивости пород призабойной зоны пласта. Если скважина эксплуатируется при забойном давлении выше давления насыщения, фонтанные трубы спускают на глубину, где давление равно давлению насыщения. Если при эксплуатации скважин выделение газа из нефти происходит на забое или из пласта вместе с нефтью поступает пластовая вода или песок, фонтанные трубы спускаются до забоя. Однако для предупреждения разрушения нижней части колонны насосно-компрессорных труб песком или их прихвата башмак фонтанных труб устанавливают на уровне верхних перфорационных отверстий.

Оптимальный коэффициент полезного действия достигается при одном определеном диаметре подъемных труб. Диаметр подъемных труб определяют по формуле:

$$d = 188 \cdot \sqrt{\frac{\rho L}{P_1 - P_2}} \cdot \sqrt[3]{\frac{QgL}{\rho g L - (P_1 - P_2)}} \ .$$

Таблица 3.1

Предельные глубины спуска труб

Номинальный диаметр, им	Группа прочности	Глубина спуска труб, м	
		неравнопрочных	равнопрочных
63	Д	2050	3000
	Е	3100	4500
73	Д	2150	3100
	Е	3100	4500

Если вычисленный диаметр подъемных труб не совпадает со стандартным, то выбирают трубы ближайшего стандартного диаметра или применяют ступенчатую колонну, состоящую из труб двух диаметров: внизу – меньший, а вверху – больший. Пропорционально разности диаметров определяют длину составных частей колонны труб.

Фонтанная арматура служит для герметизации устья скважины, направления движения газожидкостной смеси в выкидную линию, регулирования и контроля режима работы скважины созданием противодавления на забое.

Фонтанную арматуру собирают из различных фланцевых тройников, крестовиков и запорных устройств (задвижек или кранов), которые соединяют между собой с помощью болтов. Герметизируют соединения металлическим кольцом с овальным поперечным сечением, которое вставляют в канавки на фланцах и затем стягивают болтами.

Фонтанная арматура состоит из трубной головки и фонтанной елки. Трубную головку устанавливают на колонную головку. Она предназначена для подвески фонтанных труб и герметизации кольцевого пространства между фонтанными трубами и эксплуатационной колонной, а также для проведения различных технологических процессов, связанных с освоением и промывкой скважины, удалением отложений парафина из фонтанных труб, песка с забоя и т. д.

Трубная головка (рис. 3.14) состоит из крестовика *1*, тройника *3* и переводной катушки *5*. Тройник устанавливают при

оборудовании скважин двухрядным подъемником. При этом первый ряд труб крепится к переводной катушке с помощью переводной втулки *4,* а второй ряд труб – с помощью переводной втулки *2.* При оборудовании скважин только одним рядом фонтанных труб тройник на арматуре не устанавливают.

На крестовике и тройнике трубной головки ставят запорные задвижки *12,* которые служат для соединения технологического оборудования с межтрубным или кольцевым пространством, а также для их герметизации.

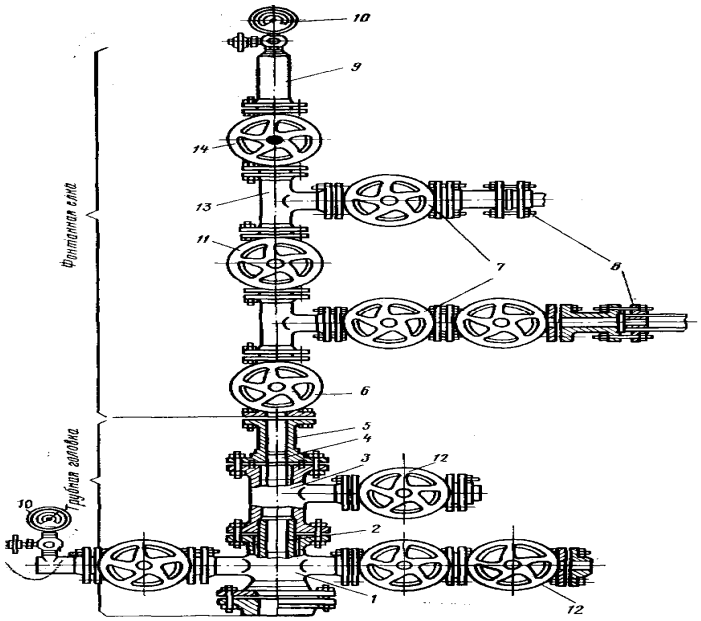


Рис. 3.14. Фонтанная арматура тройниковая:
1 – крестовик; 2, 4 – переводные втулки; 3 – тройник; 5 – переводная катушка; 6 – центральная задвижка; 7 – задвижки; в – штуцеры; 9 – буферная заглушка;, 10 – манометр; 11 – промежуточная задвижка; 12 – задвижка; 13 – тройники; 14 – буферная

Фонтанная елка устанавливается на трубную головку. Она предназначена для направления продукции скважин в выкидные

линии, регулирования отбора жидкости и газа, проведения различных исследовательских и ремонтных работ, а также при необходимости для закрытия скважины.

Фонтанная елка состоит из тройников *13,* центральной задвижки *6,* буферной задвижки *14,* задвижек *7* на выкидных линиях для перевода работы скважины на одну из них. Буферная задвижка *14* служит для перекрытия и установки лубрикатора, который применяется для спуска в скважину скребков, различных скважинных измерительных приборов под давлением, не останавливая работу фонтанной скважины. При эксплуатации скважины на буферную задвижку устанавливают буферную заглушку с манометром *10.*

Все задвижки фонтанной елки, кроме задвижек на одной из выкидных линий, при работе скважины должны быть открыты. Центральную задвижку *6* закрывают лишь в аварийных случаях, направляя жидкость через межтрубное пространство в выкидные линии трубной головки.

При работе скважины газожидкостная смесь из подъемных труб через открытую центральную задвижку направляется в один из выкидов и далее по выкидному трубопроводу в групповые сепарационные замерные установки. Для регулирования режимов работы фонтанных скважин созданием противодавления на забое на выкидах фонтанной елки устанавливают различной конструкции штуцеры 8*,* которые представляют собой втулки с калиброванными отверстиями от 1,5 до 20 мм.

Штуцеры выпускаются дискового или втулочного типов. Штуцеры дискового типа применяют на скважинах, работающих без песка, а втулочного типа – на скважинах, работающих с песком. Для продления сроков службы втулочные штуцеры изготавливают из высокопрочных сплавов – победита или самокала или из керамики, термокорунда или износостойкой пластики.

Фонтанную арматуру различают между собой по прочностным и конструктивным признакам: по рабочему или пробному давлению, размерам проходного сечения ствола, конструкции фонтанной елки и числу спускаемых в скважину рядов фонтанных труб, виду запорных устройств.

Отечественные заводы выпускают фонтанную арматуру на рабочие давления от 7 до 100 МПа. Арматуру на рабочее давление 100 МПа можно использовать на сверхглубоких скважинах или на скважинах с аномально высокими пластовыми давлениями. Для большинства фонтанных скважин преимущественно применяют арматуру на рабочие давления от 7 до 35 МПа. По размерам проходного сечения фонтанной елки фонтанную арматуру выпускают с диаметрами от 50 до 150 мм. Арматура с диаметрами 100 и 150 мм предусмотрена для высокодебитных газовых скважин.

По конструкции фонтанной елки фонтанную арматуру выпускают крестовикового (рис. 3.15) и тройникового типов, а по числу спускаемых в скважину рядов фонтанных труб – однорядную и двухрядную. Как видно из рисунка, фонтанная арматура крестовикового типа значительно ниже арматуры тройникового типа, в связи с чем, более удобна в эксплуатации и менее металлоемка.

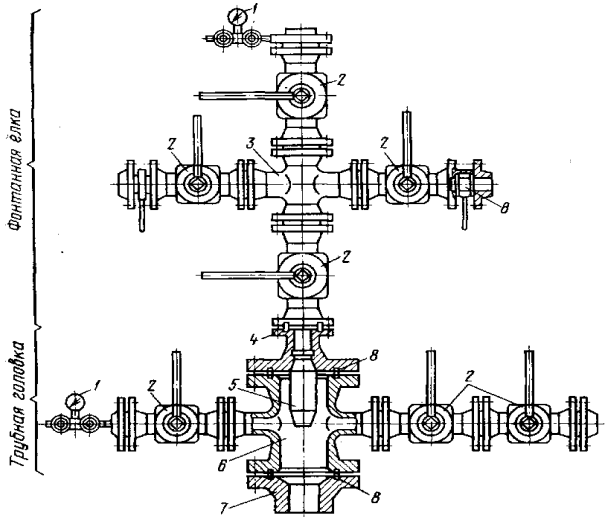


Рис. 3.15. Фонтанная арматура крестовиковая:
1 – манометры, 2 – крановые задвижки, 3, 6 – крестовик, 4 – катушка, 5 – патрубок, 7 – колонная головка; 8 – уплотнительное кольцо

Вместе с тем она имеет существенный недостаток – при выходе из строя стволового крестовика приходится глушить скважину или перекрывать центральную задвижку. Поэтому крестовикового типа фонтанную арматуру не рекомендуется применять при эксплуатации пескопроявляющих скважин.

По виду запорных устройств фонтанную арматуру выпускают с задвижками или с запорными кранами (рис. 3.15). Задвижки выпускают литые и ковано-сварочные двух типов: клиновые и прямоточные с уплотнительной смазкой.

Недостаток клиновых задвижек в том, что они быстро теряют герметичность, так как уплотнительные поверхности затворов (клина и гнезда) при открытом положении подвергаются коррозии в результате контакта их с минерализованной пластовой водой, содержащейся в продукции скважины.

Прямоточная уплотняемая смазкой задвижка обладает тем преимуществом, что при движении потока через нее продукция скважин не соприкасается с уплотняющими поверхностями, благодаря чему достигается крайне незначительный износ. Задвижка двустороннего действия имеет высокую абразивную стойкость. При износе одной стороны затвора задвижку поворачивают другой стороной.

Фонтанная арматура с крановым запорным устройством, уплотняемым смазкой, имеет меньшие габаритные размеры, массу и обладает большой коррозионной стойкостью.

3.1.5.3. Осложнения при фонтанной эксплуатации скважин и методы борьбы с ними

Осложнения при фонтанной эксплуатации скважин могут быть связаны со скоплением воды на забое, образованием песчаных пробок на забое или в стволе скважины, с отложениями солей и парафина в подъемных трубах и пульсацией скважин при выделении свободного газа из нефти под башмаком подъемных труб.

С целью уменьшения содержания воды в извлекаемой продукции и продления сроков безводного периода фонтанирования эксплуатацию скважин проводят при ограниченных деби-

тах. Однако при уменьшении скоростей подъема жидкости по стволу скважины происходит скопление воды на забое, что приводит к увеличению забойного давления и снижению дебита скважины вплоть до прекращения ее фонтанирования. Для предупреждения скопления на забое и обеспечения выноса ее на поверхность увеличивают скорости подъема жидкости из скважины, спуская фонтанные трубы до забоя. О скоплении воды на забое судят по уменьшению давлений как в межтрубном пространстве, так и в подъемных трубах, что контролируется манометрами, установленными на выкиде трубной головки и на буфере фонтанной елки.

Основная причина поступления песка в скважину – неустойчивость пород при забойной зоне пласта к размыву. Для предупреждения осложнений, связанных с поступлением песка из пласта, ограничивают отбор жидкости из скважины с таким расчетом, чтобы скорости фильтрации жидкости в призабойной зоне пласта не превышали критических скоростей разрушения пород. С целью увеличения депрессии на пласт, а следовательно, и возможности эксплуатации скважины с более высокими дебитами, на пескопроявляющих скважинах проводят крепление неустойчивых пород при забойной зоны или на забое устанавливают специальные фильтры. Чтобы не допустить образования песчано-глинистых пробок в скважине, подъемные трубы спускают до забоя.

Опыт разработки месторождений с неустойчивыми коллекторами показывает, что интенсивность выноса песка из пласта в скважину увеличивается с ростом обводнения скважин. Поэтому при появлении в продукции скважины воды необходимо срочно проводить работы по изоляции притоков пластовых вод.

Одна из причин образования песчаных пробок в скважине – разъедание штуцера песком. В результате происходят неуправляемые увеличения дебита скважины и скоростей фильтрации жидкости в призабойной зоне пласта, что обусловливает интенсивный вынос песка в скважину. Однако при этом скорости подъема жидкости в скважине остаются еще низкими, и песок оседает на забое. В случае закупоривания или разъедания шту-

цера песком необходимо направить фонтанную струю на запасной выкид и тут же очистить или сменить штуцер.

Песчаные пробки из подъемных труб удаляют посредством прокачки в скважину нефти насосами по схеме обратной промывки. Для разрушения песчаной пробки на забое скважину некоторое время эксплуатируют без штуцера, что позволяет увеличить скорости движения струи жидкости через песчаную пробку и размыть ее. Также хорошие результаты получаются при одновременной подкачке нефти через межтрубное пространство.

Если после образования песчаной пробки на забое или в подъемных трубах наблюдается некоторая циркуляция жидкости в скважине, в подъемные трубы закачивают слабый раствор соляной кислоты с таким расчетом, чтобы он не попал в призабойную зону пласта. Затем в межтрубное пространство закачивают нефть, разрушают песчаную пробку и вымывают песок на поверхность. В случае проникновения солянокислого раствора в призабойную зону могут возникнуть дополнительные осложнения, связанные с возможностью диспергации песка и глинистого материала в результате растворения цементирующего материала пород пласта.

Если вышеописанными операциями не удается ликвидировать песчаную пробку, фонтанную скважину передают на капитальный ремонт для проведения более сложных работ.

При проведении работ по ликвидации осложнений, связанных с пескопроявлениями, фонтанирующую скважину не рекомендуется останавливать, так как это может привести к образованию новых песчаных пробок в подъемных трубах или на забое. Контроль за работой фонтанной скважины, на которой наблюдается вынос песка, проводят по показаниям манометров, установленных на буфере и на выкиде трубной головки. Если песчаная пробка образовалась на забое, то буферное давление и давление в межтрубном пространстве снижаются, и одновременно снижается и дебит скважины. Снижения давления на буфере и дебита скважины с одновременным повышением давления в межтрубном пространстве указывают на образование песчаной пробки в подъемных трубах. А резкое повышение давле-

ния на буфере и в межтрубном пространстве при одновременном снижении или прекращении дебита указывает на засорение или закупоривание штуцера или выкидной линии песком или глинистым материалом.

Нефти многих месторождений содержат в своем составе от следов до 30 % и более смолопарафиновых отложений, представляющих собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов: парафинов, смол, асфальтенов и механических примесей.

В группу парафинов входят твердые углеводороды от $C_{17}H_{36}$ до $C_{71}H_{144}$. Плотность парафина в твердом состоянии колеблется в пределах от 865 до 940 кг/м^3. Чистые парафины – белые кристаллические вещества, которые при определенных термодинамических условиях пласта находятся в растворенном состоянии. Однако в процессе фонтанирования скважины, за счет теплопередачи в окружающую среду, падения давления и выделения растворенного газа в подъемных трубах, происходит охлаждение нефти. При снижении температуры нефти ниже определенного критического значения парафин кристаллизуется на стенках подъемных труб. В результате уменьшаются диаметры проходных сечений подъемных труб вплоть до полного закупоривания их парафином.

Интенсивность отложения парафина в подъемных трубах зависит от следующих факторов.

1. Шероховатость стенок труб, способствующая выделению газа из нефти и ее охлаждению. В результате растворимость парафина в нефти ухудшается, и скорость отложений увеличивается. Однако увеличение скорости потока газожидкостной смеси может несколько замедлить рост парафиновых отложений.

2. Растворяющие способности нефти по отношению к парафинам. На основе лабораторных исследований и практики установлено, что в высокомолекулярных (тяжелых) нефтях растворимость парафина снижается. Поэтому интенсивность отложения парафина в таких нефтях повышается.

3. Концентрация парафиновых соединений в нефти. Чем выше эта концентрация, тем интенсивнее откладывается на стенках труб парафин.

4. Температура кристаллизации парафинов. Кристаллизация парафинов, т. е. образование твердой фазы, происходит при разных температурах. Первые кристаллы парафина образуются на стенках, т. к. работа, затрачиваемая на образование твердой фазы на границе двух фаз (жидкость – стенка трубы), наименьшая, и температура стенки трубы ниже температуры потока. Интенсивность образования кристаллов парафина и нефти увеличивается, если в жидкости имеются механические примеси, которые являются центрами кристаллизации.

5. Темп снижения давления в потоке нефти. Чем больше перепад давления, тем интенсивнее происходит выделение газа из нефти, способствующее понижению температуры нефтегазового потока. Кроме того, разгазирование нефти влечет за собой выделение легких фракций, являющихся лучшими растворителями парафиновых соединений.

6. Скорость нефтегазового потока. На основе опыта эксплуатации месторождений с высокопарафинистыми нефтями установлено, что чем ниже скорость потока, тем больше толщина отложения парафина.

7. Наличие в нефти воды. Поверхности металла лучше смачиваются водой, чем нефтью. Поэтому между основным потоком, содержащим парафины, и поверхностями подъемных труб образуются тонкие гидратные слои, на которых кристаллы парафина не откладываются.

В зависимости от физико-химических свойств нефти и парафинов борьбу с отложениями парафина на промыслах проводят в двух направлениях:

- периодически очищают подъемные трубы от парафиновых отложений;
- создают такие условия, при которых предотвращаются отложения парафина в трубах.

Способы очистки подъемных труб от отложений парафина подразделяются на тепловые, химические и механические.

При тепловом методе очистки подъемных труб от парафина в межтрубное пространство без остановки скважины закачивают пар или горячие углеводороды. Пар закачивают с применением специальной паровой передвижной установки (ППУ), смонтированной на шасси автомашины. Эту установку используют также для нагрева нефти и конденсата. Закачку горячей нефти или конденсата проводят передвижными насосными агрегатами. Расплавленный парафин выносится потоком нефти на поверхность. При этом происходит расплавление парафина и в выкидных линиях.

Сущность химического способа борьбы с отложениями парафина сводится к тому, что с помощью насосов-дозаторов в межтрубное пространство при работе скважины подают легкую углеводородную жидкость (конденсат, нестабильный бензин) или ПАВ. При подаче легких углеводородов происходит растворение парафинов, в результате чего температура кристаллизации их снижается. Введенные в поток нефти ПАВ, адсорбируясь на твердых частицах парафина, затормаживают или полностью прекращают рост его кристаллов, в результате чего затрудняется осаждение парафина из потока нефти и образование твердых отложений.

За рубежом широкое применение находят различного рода химические реагенты, которые носят название смачивающих реагентов или диспергаторов. Смачивающие реагенты способны покрывать поверхность труб тонкой пленкой, препятствующей отложению парафина, выпавшего из раствора. Диспергаторы препятствуют слипанию молекул парафина на всем пути от забоя скважины до установок подготовки нефти и далее до завода.

На многих месторождениях нашей страны для удаления парафина со стенок труб применяются автоматические депарафинизационные установки (АДУ) с механическими скребками различной конструкции, которые работают без остановки фонтанной скважины. Установка последней конструкции АДУ-3 состоит из лебедки с намотанной на ее барабан скребковой проволокой, электродвигателя и станции управления, размещенных в специальной будке около скважины. Для спуска скребка в

скважину на верхней стволовой задвижке вместо буфера устанавливают лубрикатор с роликом и сальниковым уплотнением.

Автоматический спуск скребка осуществляется под действием собственного веса и веса специального груза (100 Н), подвешенного к нижней части скребка, по команде блока местной автоматики (БМА) станции управления, осуществляемой по заранее заданной программе в зависимости от интенсивности отложения парафина в подъемных трубах. Периодичность спуска колеблется от 2 до 24 ч и более. После достижения скребком заданной глубины спуск прекращается, автоматически включается в работу электромотор и скребок поднимается лебедкой до устья скважины. Подъем прекращается также автоматически после прохождения скребком индукционного датчика, установленного после рабочей струны фонтанной арматуры. До начала нового спуска скребок находится в подвешенном состоянии в лубрикаторе.

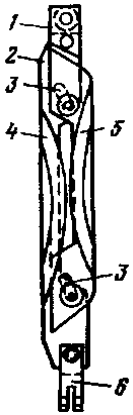


Рис. 3.16. Скребок переменного сечения:
1 – головка, 2 – корпус, 8 – наклонные прорези, 4 – неподвижный нож; 5 – подвижный нож; 6 – скоба

На рис. 3.16 показан скребок переменного сечения с неподвижным 4 и подвижным 5 ножами, который спускается в подъемные трубы на скребковой проволоке. Нож 4 раздвигается во время подъема под действием своего веса и трения о стенки труб, в результате чего диаметр окружности подвижного и неподвижного ножей становится примерно равным внутреннему диаметру труб. При спуске скребка подвижный нож, смещаясь по наклонным прорезям, поднимается вверх, и диаметр скребка становится меньше на 10–20 мм диаметра насосно-компрессорных труб. Обычно в скважину спускают два скребка,

соединенных между собой последовательно с помощью скобы. Поскольку подвижные и неподвижные ножи обоих скребков повернуты относительно друг друга на 180^0, при подъеме скребков парафин срезается со всей поверхности трубы.

К недостаткам механической очистки подъемных труб от парафина следует отнести то, что у каждой скважины приходится иметь дополнительное оборудование, которое необходимо обслуживать и которое является источником дополнительных неполадок при эксплуатации скважин (обрыв проволоки, выход из строя отдельных узлов и др.).

Наиболее эффективный способ борьбы с отложениями парафина в подъемных трубах – нанесение на их поверхности защитных покрытий (специальные лаки, эмаль и стекло). В результате получаются гладкие поверхности, на которых парафин не откладывается, что объясняется небольшими силами сцепления между частицами парафина и гладкой поверхностью покрытия, плохой смачиваемостью поверхностей покрытия нефтью и лучшей их смачиваемостью водой, а также диэлектрическими свойствами покрытий. Кроме того, частицы парафина легко смываются с поверхностей гладких покрытий потоком жидкости.

Осложнения, связанные с пульсацией скважины, объясняются следующим. Если при эксплуатации фонтанных скважин башмак подъемных труб установлен на глубине, где давление ниже давления насыщения, из нефти выделяется свободный газ, часть которого накапливается в межтрубном пространстве. По мере повышения давления газа в межтрубном пространстве происходят оттеснение нефти и прорыв этого газа через башмак в подъемные трубы. Прорыв газа сопровождается резкими снижениями забойного давления, что обусловливает нарушение нормальной работы скважин. Такое явление называется пульсацией. Пульсации скважины приводят к разрушению неустойчивых пород призабойной зоны и к пробкообразованию в скважине. При резком снижении забойного давления также происходит интенсивное выделение газа из нефти, охлаждение газонефтяного потока и более интенсивное отложение парафина на стенках подъемных труб и манифольда.

Борьбу с пульсацией в фонтанных скважинах проводят с применением одного из перечисленных методов.

1. Спуск фонтанных труб до интервала, где давление ниже давления насыщения.

2. Периодический отбор газа из межтрубного пространства, которое соединяют с выкидной линией патрубком. На нем устанавливают регулятор давления.

3. Изолирование межтрубного пространства у башмака подъемных труб пакером, что позволяет направить свободный газ в подъемные трубы и повысить эффективность работы газожидкостного подъемника.

4. Установка в нижней части подъемных труб башмачной воронки, что также позволяет лучшим образом использовать энергию расширения свободного газа для подъема газожидкостной смеси. Скважины, оборудованные башмачной воронкой, дольше фонтанируют.

5. Установка на расстоянии 30–40 м от башмака труб концевого клапана, открывающегося после оттеснения жидкости и создающего перепад давления 0,1–0,15 МПа. Газ через концевой клапан прорывается в подъемные трубы и также совершает полезную работу по подъему газожидкостной смеси по трубам.

При эксплуатации обводненных скважин происходит отложение солей в призабойной зоне пласта, на забое и в подъемных трубах. В пластовой воде содержатся как растворимые ($CaC1_2$, $MgCl_2$, NaCl), так и нерастворимые соли ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaSO_4 \cdot 2H_20$, $MgSO_4$, $BaSO_4$, $CaSiO_3$, $MgSiO_3$ и т. д.). Основная причина образования и отложения этих солей при добыче обводненной нефти – это нарушение карбонатного равновесия, обусловленное снижением температуры и давления. При наличии в пластовых водах одновременно ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, $HC\ O_3^-$ образуются очень непрочные бикарбонаты кальция и магния

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- = Ca(HCO_3)_2;$$

$$Mg^{2+} + 2HCO_3^- = Mg(HCO_3)_2,$$

равновесие которых поддерживается растворенным в воде углекислым газом. При движении газожидкостной смеси давление в

фонтанных скважинах понижается, из воды выделяется углекислый газ, и образуются осадки карбонатных солей

$$Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow CaCO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O;$$

$$Mg(HCO_3)_2 \leftrightarrow MgCO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O.$$

При снижении температуры потока равновесие последних реакций сдвигается влево, поскольку в этих условиях уменьшается выделение из раствора CO_2 и выпадение солей из раствора затормаживается.

Таким образом, падение давления газожидкостной смеси в трубах интенсифицирует образование осадков солей, а снижение температуры, наоборот, тормозит этот процесс. Однако при падении давления сдвиг реакции вправо происходит более интенсивно, чем сдвиг реакции влево при снижении температуры. В этом и заключается основная причина отложения солей в скважинах.

Борьбу с отложениями солей при фонтанной эксплуатации ведут химическими, физическими и механическими методами.

Для борьбы с водонерастворимыми отложениями карбонатных солей $CaCO_3$ и $MgCO_3$ и сульфатных солей $CaSO_4$ и $MgSO_4$ в межтрубное пространство вводят растворы гексаметафосфата натрия $(NaPO_3)_6$ и триполифосфата натрия $(Na_5P_3O_{10})$. Сущность этого метода заключается в том, что при образовании кристаллов карбонатов и сульфатов они тут же сорбируют из раствора гексаметафосфат или триполифосфат натрия, в результате чего на их поверхностях возникает коллоидная оболочка, препятствующая их прилипанию к поверхностям труб и слипанию между собой. Расход реагентов очень небольшой – не превышает 0,1 мас. % от добываемой минерализованной воды.

С отложениями карбонатных солей как на стенках труб в скважине, так и в призабойной зоне пласта также легко можно бороться, используя 12–15 %-ный солянокислотный раствор

$$CaCO_3 + 2HC1 = CaC1_2 + H_2O + CO_2 .$$

А для удаления отложений сульфатных солей применяют раствор каустической соды

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NaOH = Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + H_2O.$$

Сульфат натрия Na_2SO_4 хорошо растворяется в воде. А гидроокись кальция $Ca(OH)_2$ представляет собой рыхлую массу, частично выносимую потоком, частично разрушаемую при солянокислотной обработке

$$Ca(OH)_2 + 2HC1 = CaC1_2 + 2H_2O.$$

Борьбу с отложениями солей в фонтанных скважинах также можно вести и физическими методами. Один из таких перспективных методов – применение магнитного поля, сущность которого сводится к следующему. При обработке потока обводненной нефти магнитным полем создаются условия для более быстрого выращивания кристаллов солей, которые затем в виде аморфного шлака выносятся вместе с потоком на поверхность. Возможность применения этого метода доказана многочисленными лабораторными опытами. Однако надежной технологии обработки фонтанных скважин магнитным полем пока еще не разработано.

На практике нередки случаи, когда отложения гипса с некоторым содержанием сульфата бария полностью закрывают диаметры подъемных и обсадных труб. Такие трубы считаются непригодными для использования, их поднимают и сдают в металлолом. А фильтрационную зону скважины разбуривают и подвергают химической обработке с применением растворов каустической соды и соляной кислоты.

В заключение необходимо отметить, что разработанные методы борьбы с отложениями сульфатных солей пока еще недостаточно эффективны и требуют существенного совершенствования.

3.1.5.4. Исследования фонтанных скважин и установление оптимального режима работы

Для установления технологического режима работы фонтанных скважин проводят периодические их исследования по методу установившихся пробных откачек и методу неустановившихся режимов работы. Изменение режимов работы скважин проводят сменой штуцеров.

На каждом установившемся режиме работы фиксируют дебиты скважин, забойные давления, определяют газовые факторы и отбирают пробы жидкости для определения в ней содержания воды и песка. На основе этих исследований, кроме индикаторных линий и графиков восстановления забойного давления, строят графики зависимости забойного давления и дебита нефти, газового фактора и содержания воды и песка в продукции скважины от диаметра штуцера. Эти графики называются регулировочными кривыми, характеризующими работу фонтанной скважины на каждом режиме (рис. 3.17).

Как видно из рисунка, данную скважину можно эксплуатировать при диаметре штуцера, не превышающем 6 мм. На этом режиме вынос песка не более 0,3 % (допустимый), газовый фактор постоянный (60 м^3/т) при забойном давлении (12,5 МПа) ниже давления насыщения (13,5 МПа). При этих условиях обеспечивается оптимальный дебит нефти 50 т/сут, обводненность – 6 %. Дальнейшее увеличение диаметра штуцера приведет к снижению забойного давления ниже давления насыщения и к резкому увеличению выноса песка и обводненности скважины.

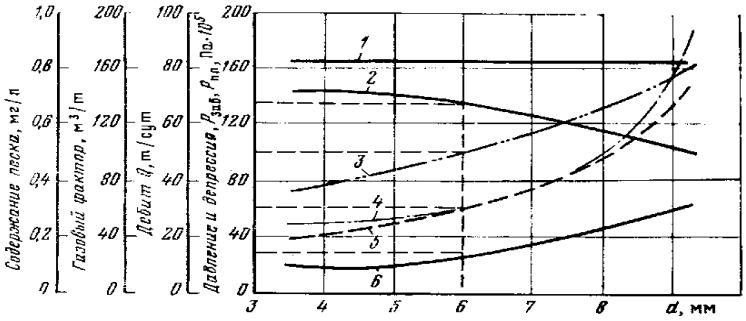


Рис. 3.17. Регулировочные кривые фонтанной скважины:
1 – пластового давления. 2 – забойного давления. 3 – дебита скважины, 4 – газового фактора, 5 – содержания песка в продукции скважины, 6 – депрессии

Технологический режим эксплуатации фонтанных скважин геологическая служба НГДУ устанавливает ежемесячно.

3.1.6. Газлифтная эксплуатация скважин

3.1.6.1. Принцип газлифтной эксплуатации скважин

Когда пластовой энергии недостаточно для подъема жидкости с забоя, переходят на механизированный способ эксплуатации скважин. Один из механизированных способов эксплуатации скважин – газлифтный способ (рис. 3.18). Газ подается в кольцевое пространство и оттесняет жидкость в насосно-компрессорные трубы. Сжатый газ, дойдя до башмака насосно-компрессорных труб, проникает в них, газируя жидкость. Пузырьки газа поднимаются по насосно-компрессорным трубам, увлекая за собой жидкость. Поскольку плотность газожидкостной смеси меньше первоначальной плотности жидкости, противодавление на пласт снижается и за счет разницы между пластовым и забойным давлениями жидкость поступает из пласта в скважину.

Таким образом, принцип действия газлифта одинаков с принципом действия фонтанного лифта, так как в обоих случаях подъем жидкости с забоя на поверхность происходит за счет энергии расширения газа. Однако в отличие от фонтанной эксплуатации при газлифтном способе рабочий агент к башмаку подъемных труб вводится с поверхности или перепускается с выше- или нижележащего высоконапорного газового пласта.

В качестве рабочего агента при газлифтной эксплуатации скважин применяют природный или нефтяной углеводородный газ или воздух. В первом случае система называется газлифтом, во втором – эрлифтом. Использование воздуха в качестве рабочего агента имеет ряд существенных недостатков.

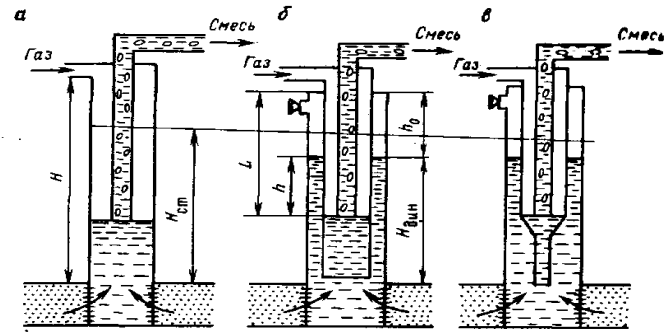


Рис. 3.18. Принципиальные схемы газлифтных скважин.
Конструкции: а – однорядная; б – двухрядная; в – полуторарядная

Сжатый воздух в скважине смешивается с газом, выделяющимся из пласта, и вместе с нефтью поступает в газоотделители. Поэтому из газоотделителя смесь воздуха с газом вынуждены выпускать в атмосферу, при этом она увлекает с собой также и лёгкие составные части нефти. Смесь воздуха с газом можно использовать и как топливо, но необходимо иметь в виду, что при содержании газа в общей смеси от 6 до 15 об. % может образоваться гремучая смесь. При использовании воздуха как рабочего агента происходит окисление нефти, и качество ее снижается.

Иногда в эрлифтных скважинах образуются стойкие эмульсии. Кроме того, применение воздуха приводит к интенсивной коррозии нефтепромыслового оборудования. Поэтому в настоящее время воздух в качестве рабочего агента на новых месторождениях практически не применяют. Эрлифт встречается в основном на старых промыслах Баку.

Способ эксплуатации нефтяных скважин с использованием рабочего агента, сжатого с помощью компрессоров, называется компрессорным. Если в качестве рабочего агента применяют природный газ высоконапорных газовых залежей, система называется бескомпрессорным газлифтом.

Газлифтный подъемник состоит из двух каналов или трубопроводов: одного для подачи рабочего агента, другого – для подъема газожидкостной смеси. Трубы, по которым закачи-

вается рабочий агент, называются воздушными, а по которым происходит подъем газожидкостной смеси – подъемными.

Если газлифтная скважина оборудована двумя рядами труб, рабочий агент подается по кольцевому пространству между первым и вторым рядами труб, а газожидкостная смесь поднимается по подъемным трубам. При этом между обсадными трубами и вторым рядом труб устанавливается новый уровень, называемый динамическим ($H_{дин}$), который всегда ниже статического. Давление столба жидкости высотой от забоя до динамического уровня равно забойному давлению

$$P_{заб} = H_{дин}\rho g .$$

Положения статического и динамического уровней определяются соотношениями

$$H_{ст} = P_{пл} / (\rho g) \qquad H_{дин} = P_{заб} / (\rho g).$$

Расстояние от устья до динамического уровня

$$h_0 = H - H_{дин} = H - \frac{P_{заб}}{\rho g},$$

где H – глубина скважины.

Давление у башмака подъемных труб

$$\rho_1 = (L - h_0)\rho g = h\rho g ,$$

где L – длина подъемных труб; h – глубина погружения подъемных труб ниже динамического уровня.

Глубина погружения определяется

$$h = \frac{P_1}{\rho \cdot g}.$$

Отношение глубины погружения ко всей длине подъемных труб называется относительным погружением

$$h_{от} = h / L .$$

3.1.6.2. Конструкции и системы подачи рабочего агента газлифтных подъемников

По числу спускаемых труб газлифтные подъемники бывают однорядные, двухрядные и полуторарядные, а по направлению рабочего агента – с кольцевой и центральной системами подачи.

При однорядном подъемнике с кольцевой системой подачи рабочего агента подъемные трубы спускают под статический уровень ($H_{ст}$) таким образом, чтобы при работе подъемника в скважине установился воображаемый динамический уровень $H_{дин}$, который обеспечивает необходимое забойное давление $P_{заб}$. Погружение труб под динамический уровень называется глубиной погружения. Газожидкостная смесь поднимается по центральным трубам. При работе такого подъемника рабочий уровень жидкости находится у башмака подъемных труб.

В однорядном подъемнике центральной системы рабочий агент нагнетается в колонну насосно-компрессорных труб, а газожидкостная смесь поднимается по межтрубному пространству. Центральную систему применяют в том случае, если в скважину нельзя спустить трубы расчетного диаметра. Кроме того, при центральной системе подачи рабочего агента достигается значительное снижение рабочего давления.

Существенные недостатки подъемников центральной системы заключаются в следующем. При эксплуатации пескопроявляющих скважин разъедаются соединительные муфты на трубах, и они могут оборваться и упасть в скважину. При эксплуатации скважин, дающих парафинистую нефть, происходит отложение парафина в кольцевом пространстве, что приводит к потере подачи скважины и вызывает необходимость ее ремонта. Поэтому на практике в большинстве случаев применяют подъемники кольцевой системы.

Принцип действия однорядного и двухрядного подъемников один и тот же. Однорядные подъемники применяют на скважинах, которые эксплуатируют без воды и песка.

Двухрядные подъемники применяют на сильно обводненных скважинах или на скважинах, склонных к пескопроявлени-

ям. Поскольку диаметры второго ряда труб меньше внутреннего диаметра обсадных труб, и они спущены до верхнего интервала перфорации скважины, резко увеличиваются скорости восходящего потока жидкости и улучшаются условия выноса песка или воды с забоя скважины на поверхность.

Существенный недостаток двухрядных подъёмников – их большая металлоемкость. Для уменьшения металлоемкости, а также для лучшего обеспечения выноса песка, поступающего вместе с нефтью к забою скважины, и улучшения условий подъема воды, которая может скопиться на забое из-за большой плотности, применяют так называемые «полуторарядные» подъемники с хвостовиком, являющимся продолжением внешнего ряда труб.

Преимуществами двухрядных подъемников является то, что они работают с меньшей пульсацией рабочего давления и струи жидкости, а следовательно, требуется меньший расход рабочего агента.

Для оборудования скважин однорядными подъемниками применяют насосно-компрессорные трубы с условными диаметрами от 48 до 89 мм и редко 114 мм.

При двухрядном подъемнике для колонны наружного ряда применяют трубы с условным диаметром 114, 102, 89 и 73 мм, для колонны внутреннего ряда – трубы диаметром 73, 60 и 48 мм.

При выборе конструкции газлифтных скважин следует иметь в виду, что минимальный зазор между внутренней стенкой обсадной колонны и наружной стенкой муфт насосно-компрессорных труб составляет 12–15 мм.

3.1.6.3. Преимущества и недостатки газлифтного способа эксплуатации нефтяных скважин

Основными преимуществами газлифтного способа являются:

- простота конструкций оборудования, в скважину не спускаются трущиеся, а, следовательно, и быстроизнашивающиеся механизмы;

- расположение всего оборудования на поверхности, что доступно для его обслуживания и ремонта;

- возможность отбора больших объемов жидкости (до 1800–1900 т/сут) независимо от глубины скважины и диаметра эксплуатационной колонны; простота регулирования дебита скважин; возможность эксплуатации пескопрояляющих и обводненных скважин;

- возможность эксплуатации искривленных и наклонно-направленных скважин;

- высокая температура не влияет на работу газлифтных скважин, выделяющийся из пласта газ не только не мешает нормальной эксплуатации скважин, а, наоборот, облегчает подъем жидкости на поверхность;

- широкое применение в скважинах небольшого диаметра;

- простота исследования скважин.

Наряду с положительными сторонами газлифтный способ обладает серьезными недостатками:

- низкий к. п. д. подъемника и всей системы компрессор – скважина (при низких динамических уровнях к. п. д. подъемника часто не превышает 5 %);

- большой расход труб, особенно в скважинах обводненных и склонных к пробкообразованию;

- высокая стоимость первоначальных затрат на строительство дорогостоящих компрессорных станций, газораспределительных будок и разветвленной сети газопроводов;

- быстрое увеличение расхода энергии на подъем 1 т нефти при уменьшении дебита скважин (эксплуатация малодебитных скважин с низкими динамическими уровнями газлифтным способом невыгодна).

Однако большие капитальные вложения на строительство компрессорных станций и системы газопроводов очень быстро окупаются, себестоимость добычи нефти из газлифтных скважин быстро снижается и становится значительно ниже, чем при добыче нефти насосными способами.

По зарубежным данным дебиты газлифтных скважин очень часто выше фонтанных.

Простота обслуживания и большой межремонтный период газлифтных скважин обеспечивают высокий коэффициент эксплуатации и сравнительно низкую себестоимость. Это свиде-

тельствует о бесспорных преимуществах газлифтного способа эксплуатации скважин по сравнению с другими механизированными способами.

В связи с указанными преимуществами в настоящее время число газлифтных скважин в нашей стране быстро увеличивается. Особенно широкое внедрение газлифт получает на месторождениях Сибири, Мангышлака, Туркмении и др. Здесь в качестве рабочего агента используется или природный газ соседних высоконапорных газовых месторождений, или природный газ выше- или нижележащих газовых залежей данного нефтегазового месторождения.

3.1.6.4. Осложнения при газлифтной эксплуатации скважин, их предупреждение и ликвидация

Нормальная работа газлифтных скважин может нарушаться по следующим причинам: образование песчаных пробок на забое или воздушных в подъемных трубах; отложение солей на забое или в подъемных трубах; скопление воды на забое и образование стойких водонефтяных эмульсий.

Предупреждают и ликвидируют отложения песка так же, как и при фонтанной эксплуатации скважин. Для обеспечения выноса небольшого (допустимого) количества песка на поверхность спускают подъемные или воздушные трубы до уровня верхних отверстий интервала перфорации. При двухрядных подъемниках нередко применяют хвостовики с уменьшенными диаметрами (полуторный лифт).

Об образовании песчаных пробок в скважинах судят по резкому снижению их дебитов и по показаниям контрольно-измерительных приборов. Причиной прекращения подачи жидкости при резком увеличении давления нагнетания газа является перекрытие подъемных труб так называемой патронной песчано-глинистой пробкой. Для разрушения пробки в подъемные трубы нагнетают газ, а иногда и жидкость с газом. Если эти мероприятия не дают положительного результата, трубы поднимают на поверхность.

О возможности образования песчаной пробки ниже точки проникновения рабочего агента в подъемные трубы (в подъемных трубах – ниже рабочих отверстий, в воздушных трубах – ниже башмака подъемных труб, а также на забое или в стволе скважины) судят по резкому снижению давления нагнетания рабочего агента при полном прекращении дебита скважины. Такая пробка полностью закрывает фильтр, и доступ жидкости из пласта в скважину прекращается.

Для ликвидации песчаных пробок, не прекращая нагнетания рабочего агента, в кольцевое пространство закачивают нефть. Нередко таким способом удается размыть пробку. В противном случае трубы поднимают на поверхность.

При эксплуатации газлифтных скважин в результате нарушения термодинамического равновесия происходит отложение солей, в основном в верхних частях подъемных труб на глубине 150–300 м от устья. Однако не исключена возможность отложения солей и на забое скважины или даже в призабойной зоне пласта. Нередко из-за отложения солей происходит полное закрытие диаметра подъемных труб, и скважина прекращает свою работу. В этом случае для восстановления продуктивности скважины трубы поднимают и фрезеруют в механических мастерских.

При частичном закрытии диаметра труб отложениями карбонатных солей их удаляют прокачкой пресной воды, а отложения сульфатных солей удаляют, прокачивая щелочную воду. Применение горячей воды повышает эффективность работ по удалению солей из скважины.

Борьба с отложениями парафина проводится так же, как и при эксплуатации фонтанных скважин. Также оборудуют скважину автоматическими скребками или плунжерным лифтом. Периодичность прокачки горячих теплоносителей или спуска скребка в скважину определяется индивидуально для каждой скважины в зависимости от интенсивности отложения парафина на стенках труб. Для предупреждения отложения парафина в процессе эксплуатации скважины в воздушные трубы малыми дозами закачивают углеводородные растворители или растворы поверхностно-активных веществ. В результате изменяется

структура газожидкостной смеси и исключается возможность отложения парафина.

При определенных условиях в процессе эксплуатации обводненных газлифтных скважин могут образоваться стойкие эмульсии, обладающие высокой вязкостью.

Для борьбы с эмульсией проводят внутрискважинную деэмульсацию введением в воздушные трубы деэмульгатора. В качестве деэмульгатора применяют нейтрализованный черный контакт (НЧК) или какое-либо другое эффективное ПАВ.

В случае накопления воды на забое происходит уменьшение депрессии на пласт и ограничение отбора нефти из скважины. Для борьбы с водой подъемные или воздушные трубы спускают до верхних перфорационных отверстий.

3.1.6.5. Повышение эффективности работы газлифтных подъемников

Проведенные исследования показали, что к. п. д. компрессорного газлифта составляет 0,10–0,14, бескомпрессорного – 0,3–0,32 и внутрискважинного – 0,32–0,35. Низкий к.п.д. компрессорного газлифта объясняется тем, что в системе компрессорного газлифта много различных технологических объектов, в которых происходят большие потери энергии, а также значительны потери энергии и в самих компрессорных установках.

Предельное снижение числа технологических объектов достигается при бескомпрессорном или внутрискважинном газлифте.

Низкий к.п.д. газлифтных скважин обусловлен большими потерями напора на проскальзывание газа в подъемных трубах. Один из методов снижения этих потерь – искусственное дробление газа в подъемных трубах с применением различных способов диспергации газа.

1 Растворение в жидкости газовой фазы. При последующем снижении давления в подъемных трубах газ выделяется из жидкости в виде мелких пузырьков.

2 Введение в подъемные трубы сжиженного газа, который по мере снижения давления выделяется в виде мелких пузырьков. Этот метод успешно был испытан в условиях промысла на ряде скважин, и в настоящее время проводятся исследования для разработки специального газлифтного цикла с оценкой его эффективности.

3 Введение в подъемные трубы поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые ускоряют процесс выделения газа и препятствуют слиянию и укрупнению пузырьков.

4 Введение в подъемные трубы высокомолекулярных соединений (ВМС), которые уменьшают скорость всплытия газовых пузырьков.

5 Дробление газовой фазы при вводе се в подъемные трубы различными способами, при пропускании газовой фазы через систему мелких отверстий, усилении турбулентных пульсаций в гидравлическом диспергаторе, воздействии электрическими, магнитными и ультразвуковыми полями и т. д.

3.1.7. Эксплуатация скважин штанговыми скважинными насосами

Штанговые насосные установки предназначены для подъема жидкости из скважин на поверхность.

На долю штангового насосного способа эксплуатации в нашей стране приходится около 70 % действующего фонда скважин, которые обеспечивают до 30 % общего объема добычи нефти.

В зависимости от глубины залегания продуктивного пласта и коэффициента продуктивности скважин подача штанговых насосных установок изменяется от нескольких десятков килограммов до 200 т и более в сутки. На отдельных скважинах глубина подвески насоса достигает 3000 м.

3.1.7.1. Схема и принцип работы штанговой насосной установки

Штанговая насосная установка (рис. 3.19, *а*) состоит из скважинного насоса, который спускается в скважину под динамический уровень жидкости на насосно-компрессорных трубах диаметром 38–102 мм и штангах диаметром 16–25 мм, индивидуального привода, состоящего из станка-качалки и электродвигателя, и устьевого оборудования, в состав которого входят тройник с сальником и планшайба. Верхняя штанга, называемая полированным штоком, пропускается через сальник и соединяется с головкой балансира станка-качалки с помощью канатной подвески и траверсы.

Плунжерный насос приводится в действие от станка-качалки, где вращательное движение, получаемое от двигателя при помощи редуктора, кривошипно-шатунного механизма и балансира, преобразуется в возвратно-поступательное движение, передаваемое плунжеру штангового насоса через колонну штанг *3*.

При ходе плунжера вверх (рис. 3.19, *б*) под ним снижается давление, и жидкость из межтрубного пространства через открытый всасывающий клапан поступает в цилиндр насоса.

При ходе плунжера вниз всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный клапан открывается, и жидкость из цилиндра переходит в подъемные трубы. При непрерывной работе насоса уровень жидкости в насосно-компрессорных трубах (НКТ) повышается, жидкость доходит до устья скважины и через тройник переливается в выкидную линию.

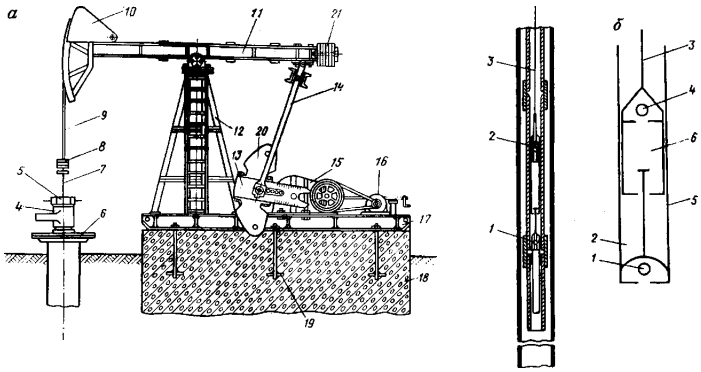


Рис. 3.19. Схема штанговой насосной установки:
а – общая схема:1 – скважинный насос; 2 – насосно-компрессорные трубы; 3 – штанги; 4 – тройник; 5 – сальник; 6 – планшайба; 7 – полированный шток; 8 – траверсы; 9 – подвеска; 10 – головка балансира; 11 – балансир; 12 – опора; 13 – кривошип; 14 – шатун; 15 – редуктор; 16 – электродвигатель; 17 – рама; 18 – бетонное основание; 19 – анкерные болты; 10 – роторный противовес; 21 – балансирный противовес; б – схема скважинного насоса:1 – всасывающий клапан; 2 – цилиндр насоса; 3 – штанги; 4 – нагнетательный клапан; 5 – захватный шток; 6 – плунжер

3.1.7.2 Подача штанговой насосной установки

Теоретическая подача штангового насоса за один двойной ход (вверх, вниз) равна объему цилиндра, описываемого плунжером при ходе вверх

$$V = FS_{\text{пл}},$$

где $S_{\text{пл}}$ – длина хода плунжера; F – площадь сечения плунжера.

Минутная подача насоса определяется как произведение подачи насоса за один двойной ход на число двойных ходов плунжера n в минуту:

$$V_{\text{мин}} = FS_{\text{пл}}\, n.$$

Суточная теоретическая подача насоса

$$Q_{\text{теор}} = 1440FS_{\text{пл}}\, n.$$

На практике фактическая подача штангового насоса обычно меньше теоретической, т. к. длина хода плунжера $S_{пл}$ всегда меньше длины хода полированного штока S. Кроме того, снижение фактической подачи насоса происходит из-за возможных утечек жидкости обратно в скважину в результате нарушения герметичности насосно-компрессорных труб, наличия большого зазора между плунжером и цилиндром и неисправности нагнетательного или всасывающего клапанов. Поэтому фактическая подача штанговой насосной установки

$$Q_{фак} = 1440FSn\alpha,$$

где S – длина хода полированного штока; α – коэффициент подачи штангового насоса, который равен отношению фактической суточной подачи насосной установки к его суточной теоретической подаче:

$$\alpha = Q_{фак} / Q_{теор} .$$

Как видно из формулы, подача штанговой насосной установки зависит от диаметра плунжера, длины хода полированного штока и числа двойных ходов полированного штока в минуту. Так, в современных штанговых установках диаметры плунжера насоса изменяются от 28 до 120 мм, длина хода полированного штока – от 0,45 до 6 м и более, число ходов от 1 до 20 в минуту. При чрезмерном увеличении числа ходов плунжера жидкость, поступающая в скважину, не успевает заполнять освобождающийся объем цилиндра. Это ведет к снижению коэффициента подачи насоса, а также отрицательно влияет на работу всей насосной установки, так как движение плунжера вниз сопровождается ударами о жидкость, что вызывает сотрясение колонны штанг и неравномерную нагрузку на механизм станка-качалки.

Коэффициент подачи штангового насоса может изменяться от 0 до 1.

В промысловой практике считают работу насосной установки хорошей, если $\alpha = 0{,}7–0{,}8$.

Коэффициент подачи насосной установки также зависит от коэффициента наполнения насоса, который равен отношению фактически поступающего под плунжер объема жидкости к ци-

линдрическому объему, описываемому плунжером при ходе его вверх.

Коэффициент наполнения насоса зависит от количества свободного газа, попадающего в цилиндр вместе с жидкостью, н объема вредного пространства, образующегося между всасывающим и нагнетательным клапанами при крайнем нижнем положении плунжера.

Коэффициент наполнения насоса

$$\beta = \frac{1 - kR}{1 + R},$$

где $R = V_г/V_н$ – объемное соотношение газа и нефти, постоянно поступающих в насос при определенном давлении погружения; $k = V_{вр}/V_ц$ – отношение объема вредного пространства насоса к цилиндрическому объему, описываемому плунжером при его ходе вверх. Из уравнения видно, что коэффициент наполнения насоса тем больше, чем меньше отношение $k=V_{вр}/V_ц$ и чем меньше объем свободного газа, попадающего в цилиндр. Следовательно, коэффициент наполнения насоса можно увеличивать:

1) уменьшая объем вредного пространства установкой нагнетательного клапана в нижней части плунжера; величину $k=V_{вр}/V_ц$ можно уменьшить также, увеличивая длину хода плунжера;

2) уменьшая объем свободного газа, поступающего в цилиндр, увеличением глубины погружения насоса под динамический уровень; при этом давление на приеме насоса увеличивается, что приводит к уменьшению выделения растворенного газа из нефти; 3) частичным отводом свободного газа в межтрубное пространство при установке на приеме насоса специального приспособления, называемого газовым якорем.

3.1.7.3. Штанговые насосы

Штанговые насосы по конструкции и способу установки подразделяют на невставные и вставные.

Невставные насосы отличаются тем, что основные их узлы в скважину спускают раздельно: цилиндр – на насосно-компрессорных трубах, а плунжер и всасывающий клапан – на

штангах. Поднимают невставной насос также раздельно: сначала на штангах поднимают плунжер с всасывающим клапаном, затем на насосно-компрессорных трубах – цилиндр.

Невставные насосы бывают двухклапанные НСН-1 (насос скважинный невставной первого типа) и трехклапанные НСН-2. Насос НСН-1 (рис. 3.20, *а*) имеет три основных узла: первый – цилиндр, который состоит из собственно цилиндра *2,* патрубка-удлинителя *4* и седла конуса *6;* второй – плунжер, в состав которого входят сам плунжер *3* и шариковый нагнетательный клапан 1; третий – шариковый всасывающий клапан 5 с захватным штоком 7, головка которого находится в полости цилиндра.

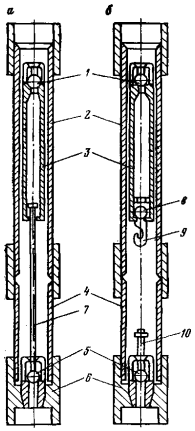


Рис. 3.20. Схемы невставных насосов:
а – двухклапанного НСН-1,
б – трехклапанного НСН-2

После спуска на насосно-компрессорных трубах цилиндра с седлом конуса 6 в скважину спускают плунжер *3* с всасывающим клапаном 5, который висит на захватном штоке 7. Всасывающий клапан вставляют в седло конуса надавливанием на него нижней частью колонны штанг массой 200 кг. Для нормальной работы насоса длину хода полированного штока выбирают таким образом, чтобы при ходе плунжера вниз он не доходил до всасывающего клапана, а при ходе вверх – не зацеплял головку штока. При необходимости подъема всасывающего клапана вместе с плунжером он зацепляется за нижнюю часть плунжера с помощью головки штока и снимается с седла конуса.

Насос НСН-1 предназначен для эксплуатации скважин при глубине подвески до 1500 м. Цилиндр обычного насоса типа НСН-1 имеет семь чугунных втулок длиной 300 мм каждая.

Для малодебитных скважин с глубиной подвески до 400 м при длине хода до 0,6 м разработаны двухвтулочные насосы с диаметрами 28 и 32 мм. Цилиндр в таком насосе всегда перекрыт плунжером длиной 1200 мм.

Существенный недостаток насоса НСН-1 – слишком большой объем вредного пространства. Этот недостаток устранен в трехклапанных насосах НСН-2 (рис. 3.20, б), в нижней части плунжера которого имеется второй нагнетательный клапан *8*. Всасывающий клапан в скважину спускают посаженным в седло конуса, а поднимают с помощью укороченного захватного штока *10* с поперечной шпилькой на головке. Перед подъемом плунжер -спускают до упора на всасывающий клапан. Укороченный шток с поперечной шпилькой заходит в фигурный паз 9, находящийся в нижней части плунжера, и при повороте штанг с плунжером вправо на четверть оборота зацепляется с ним. Возвращение всасывающего клапана после осмотра на свое место осуществляют также с помощью укороченного штока. Для этого, после поворота всасывающего клапана в седло конуса штанги поворачивают влево и приподнимают таким образом, чтобы при ходе плунжера вниз они не доходили до укороченного штока.

Длина цилиндра насоса НСН-2 изменяется от 3440 до 6955 мм и зависит от длины хода плунжера. Благодаря применению второго нагнетательного клапана объем вредного пространства уменьшается в среднем в 2 раза по сравнению с вредным пространством в насосе НСН-1.

Недостатком невставных насосов типа НСН является то, что для устранения неисправностей или смены насоса необходимо поднимать сначала штанги с плунжером и всасывающим клапаном, затем – насосно-компрессорные трубы с цилиндром, на что затрачивается много времени.

Поэтому предложены вставные насосы типа ПСВ (рис. 3.21), которые спускаются в скважину сразу в собранном виде на штангах.

На практике широко применяют насосы типа МСВ-1, предназначенные для эксплуатации скважин при глубине подвески до 2500 м (рис. 3.21 *а)*. Цилиндр насоса *5* на нижнем конце имеет всасывающий клапан *8,* а на верхнем конце – конус *3,* который входит в замковую опору *4* и герметизирует насосно-компрессорные трубы (НКТ) 7. Плунжер *6* подвешивают на колонне штанг при помощи штока 1 таким образом, чтобы при ходе вниз он не касался всасывающего клапана, а при ходе вверх не доходил до ниппеля *2*. Ниппель смонтирован на верхнем конусе и служит для направления штока 1. На нижнем конце НКТ смонтирована направляющая труба.

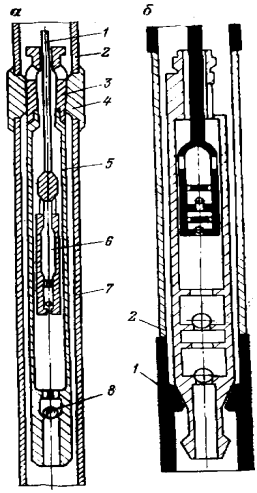


Рис. 3.21. Схемы вставных штанговых насосов:
а – типа НСВ-1, б – типа НСВ-2

Плунжеры насоса типа НСВ-1 изготавливают диаметрами 28, 32, 38 и *43* мм. Вставной насос садится на конусную опору при надавливании низом колонны штанг массой 200 кг. Снятие его с конусной опоры осуществляется при натяжении с усилием не более 2000 Н.

Для эксплуатации скважин глубиной от 2500 до 3500 м применяют насосы типа НСВ-2 (рис. 3.21, *б*), у которых замковая опора 1 перенесена в нижнюю часть кожуха *2,* что позволяет разгрузить его от растягивающих усилий при ходе вниз.

Для эксплуатации пескопроявляющих скважин с глубиной подвески насоса до 1200 м применяются насосы типа НСН-2Т с трубчатыми штангами диаметром 43 и 55 мм. При этом допустимое содержание песка в жидкости не должно превышать 0,2 %.

В настоящее время штанговые насосы выпускаются с взаимозаменяемыми цилиндрами, плунжерами и клапанами.

Цилиндр насоса собирается из отдельных втулок длиной 300 мм, которые изготовляют из модифицированного серого чу-

гуна или из легированной стали. С целью повышения износостойкости и твердости рабочей поверхности втулки подвергают специальной термической обработке. В зависимости от типа насоса и их подачи рабочие цилиндры насосов собирают из 2–29 втулок.

Плунжеры штанговых насосов изготавливают из цельнотянутых стальных труб длиной 1200 м и толщиной стенок от 5 до 9,5 мм. На обоих концах плунжера нарезана внутренняя резьба для присоединения клапанов и переводников. Наружную поверхность плунжера шлифуют, покрывают слоем хрома и полируют, что повышает износостойкость и антикоррозийность.

Для эксплуатации скважин с нефтями без механических примесей применяют плунжеры с гладкой внешней поверхностью (рис. 3.22, *а),* а при содержании в извлекаемой продукции незначительного количества песка на внешней поверхности плунжера делают кольцевые канавки-ловушки (рис. 3.22, *б*). При этом отдельные песчинки попадают в эти канавки и вероятность повреждения полированных поверхностей плунжера и цилиндра уменьшается.

На скважинах с большим содержанием песка в откачиваемой жидкости применяют специальные плунжеры типа «пескобрей» (рис. 3.22, *в*). На верхнем конце плунжера сделана цилиндрическая расточка глубиной 25–30 мм с конической фаской внутрь. Толщина расточенной стенки уменьшается до 2 мм. Вместо верхнего нагнетательного клапана в плунжер ввинчивают специальную клетку с втулкой для соединения со штангой. При работе насоса под давлением столба жидкости утонченная часть стенки плунжера несколько расширяется и плотно прижимается к стенкам труб. При ходе плунжера вверх осевший песок со стенок цилиндра соскабливается кромкой плунжера и вместе с потоком возносится на поверхность. Кроме того, на внешней поверхности плунжера типа «пескобрей» имеются кольцевые канавки.

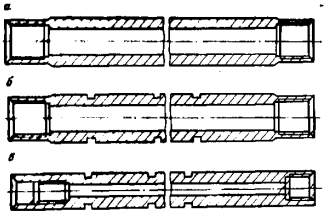


Рис. 3.22. Плунжеры насоса

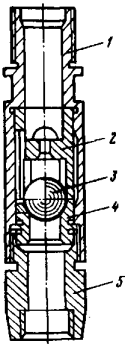


Рис 3.23. Клапанный узел скважинных насосов:
1 – корпус, 2 – клетка, 3 – шарик, 4 – седло, 5 – наконечник конус

На штанговых насосах применяют шариковые клапаны, их седла имеют или бурт, или гладкую поверхность (рис. 3.23). Последние применяют, как правило, в качестве нагнетательных клапанов. Седла клапанов симметричны и при износе одной из кромок поверхности их поворачивают (переставляют) на 180° для использования другой поверхности. Шарик и седло изготавливают из высокоуглеродистой стали, а для работы в коррозионной среде – из бронзы. Для обеспечения герметичности прилегания шарика к седлу, а также предотвращения износа седла и быстрого его выхода из строя шарик и седло притирают. Герметичность стыка проверяют на специальном вакуумном приборе.

3.1.7.4. Борьба с осложнениями при эксплуатации скважин штанговыми насосными установками

При эксплуатации скважин штанговыми насосными установками могут происходить следующие осложнения.

Обрыв штанг и истирание НКТ происходят в результате трения штанг или муфт о стенки труб при длительной их работе в искривленных скважинах. Износ труб, штанг и их муфт также зависит от гладкости трущихся поверхностей и отношений их твердостей, наличия в продукции скважины пластовой минерализованной воды, которая вызывает коррозию труб и штанг, и ослабляет их прочность.

Для предупреждения обрыва штанг и истирания труб в искривленных скважинах применяют закаленные с поверхности муфты с овальными кромками или специальные шарнирные муфты, используют штанги, обработанные токами высокой частоты. Для борьбы с коррозией применяют ингибиторы коррозии, которые периодически в нужной дозе подаются в межтрубное пространство.

В процессе эксплуатации скважин штанговыми насосными установками происходит отложение парафина на клапанах насоса, стенках и поверхностях труб и штанг, которое нарушает нормальную работу насоса. При этом снижается площадь проходного кольцевого сечения между штангами и подъемными трубами, появляются дополнительные гидравлические сопротивления движению жидкости по подъемным трубам и повышаются гидравлические давления на плунжерную пару, что приводит к утечкам жидкости через их зазоры. Очень часто из-за интенсивного отложения парафина происходит обрыв штанг или поломка их в нижней части ближе к плунжеру при возникновении осевых нагрузок.

Борьбу с отложениями парафина в насосных скважинах проводят механическим путем с помощью торцевых укороченных пластинчатых скребков, прикрепленных хомутиками к штангам. Эти скребки автоматически поворачиваются на определенный угол при каждом ходе колонны штанг вниз. Пластинчатые скребки изготавливают из листовой стали толщиной 2,5–3 мм, длиной 150–250 мм и шириной на 2–3 мм меньше соответствующего диаметра подъемных труб. Расстояние между скребками на штангах устанавливается несколько меньше длины хода сальникового штока.

Общие недостатки способа очистки парафина скребками заключаются в сплошности прикрепления пластинок к штангам, что затрудняет спуск и подъем штанг в скважину, а также увеличивает нагрузки на точку подвеса штанг и в целом на станок-качалку.

Для борьбы с отложениями парафина также проводят периодические термические обработки скважин без их остановки закачкой в межтрубное пространство горячей нефти, которая,

проходя через всасывающий клапан и НКТ, расплавляет отложения парафина и выносит их на поверхность.

В последние годы при насосной эксплуатации скважин широкое применение находят остеклованные или покрытые бакелитовым лаком НКТ, на которых парафин не оседает. Кроме того, из-за лучшей смачиваемости стекла водой при добыче обводненной нефти на поверхностях труб образуются гидратные слои, препятствующие отложению парафина.

Большие осложнения при эксплуатации скважин штанговыми насосами обусловлены попаданием свободного газа в их цилиндры. В результате происходит снижение коэффициента наполнения насоса. Борьбу с этими осложнениями проводят следующими методами: используют насосы с уменьшенным вредным пространством; увеличивают длину хода плунжера; увеличивают глубины погружения насоса под уровень жидкости в скважине; отсасывают газ из межтрубного пространства.

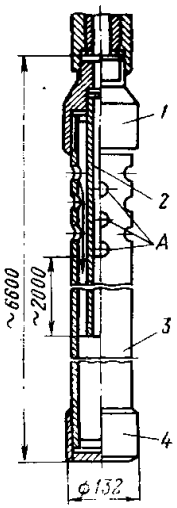


Рис. 3.24. Газовый якорь ЯГ-1

Кроме того, для борьбы с попаданием в цилиндр насоса газа при эксплуатации скважин на приеме насоса устанавливают газовые якори различной конструкции. На рис. 3.24 показана простейшая схема однокорпусного газового якоря ЯГ-1, который состоит из двух концентрически расположенных труб, соединенных между собой переводником 1 для подвешивания к приему насоса.

В верхней части корпуса *3* просверлено 12 отверстий *А*. Нижний конец корпуса закрыт заглушкой *4*. Газожидкостная смесь, поступающая из скважины, доходит до отверстий *А*. Большая часть газа, не останавливаясь, поднимается в межтрубное пространство, а нефть с частью газа попадает через отверстия *А* в кольцевое пространство между трубами *2* и *3* и движется к нижнему концу внутренней трубы. Здесь смесь, снова меняя

направление, поступает во всасывающую трубу *2* и затем в насос. При изменении направления газ частично отделяется от нефти и через отверстия *А* в корпусе якоря уходит в межтрубное пространство.

Для лучшего отделения газа от нефти используют многосекционные газовые якори с несколькими поворотами движущегося потока.

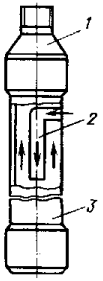


Рис. 3.25. Схема песочного якоря

При работе штанговой насосной установки в связи с попаданием песка на прием насоса происходят разрушение клапанов и утечка жидкости через них, изнашивание плунжерной пары и их заклинивание, оседание песка в трубах и заклинивание штанг и др. Для борьбы с песком на приеме насоса посредством переводника *1* устанавливают песочный якорь (рис. 3.25). Простейший песочный якорь обращенного типа работает следующим образом. Жидкость с песком через отверстие попадает во внутреннюю трубу 2 и направляется вниз. При выходе смеси из внутренней трубы скорость жидкости сильно снижается. Песок оседает на дно корпуса *3* якоря, а нефть без песка направляется по кольцевому пространству между внутренней трубой и корпусом к приему насоса. По мере накопления песка в корпусе якорь извлекается на поверхность, очищается от песка и снова спускается в скважину. Длину песочного якоря выбирают таким образом, чтобы время заполнения его песком совпадало со временем износа и смены насоса.

Иногда для лучшего выноса песка на неглубоких скважинах применяют насосы с полыми (трубчатыми) штангами вместо обычных. В качестве полых штанг также используют НКТ диаметрами 33, 42 и 48 мм. Жидкость, содержащая песок, при выходе из плунжера попадает в полые штанги и с большой скоростью поднимается до устья, затем по гибкому шлангу она направляется в выкидные линии. Полые штанги подвешивают к головке балансира с помощью канатного подвеса и вертлюга.

Устье скважины герметизируют специальным сальниковым устройством.

Для устранения неуравновешенности плунжера при ходе вниз кольцевое пространство между насосными трубами и трубчатыми штангами заливают водой или нефтью.

3.1.8. Эксплуатация скважин погружными электронасосами

Современные штанговые насосы не позволяют эксплуатировать скважины большой глубины, которые достигают 5000 м и более, что объясняется необходимостью иметь громоздкое тяжелое оборудование со штангами, изготовленными из стали высокой прочности. Да и подача этих насосных установок недостаточна. Поэтому в настоящее время разработаны принципиально новые бесштанговые насосные установки с переносом двигателей на забой.

Широкое применение в нашей стране получили погружные установки центробежных электронасосов. Начали применяться гидропоршневые насосы, и прошли успешные промышленные испытания винтовые насосы. Средний дебит нефтяной скважины, оборудованной такой установкой, составляет 120–140 т/сут, в то время как дебит скважин, оборудованных штанговыми насосными установками, всего 15 т/сут. Большое преимущество этих установок – простота обслуживания, большой межремонтный период работы – более 1 года. Нередки случаи, когда на отдельных месторождениях установки работают более 2–3 лет без подъема.

3.1.8.1. Установка погружного центробежного электронасоса

Установка погружного центробежного электронасоса состоит из следующих основных элементов: насосного агрегата (насос *3,* электродвигатель *1*, протектор *2*), который спускается на колонне насосно-компрессорных труб; бронированного кабеля 4; устьевой арматуры 5; автотрансформатора *6* и станции управления 7 (рис. 3.26).

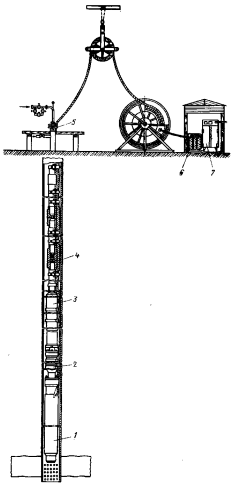


Рис. 3.26. Установка погружного центробежного электронасоса

Погружной электродвигатель (ПЭД) *1* расположен под насосом *3,* вал которого соединяется с валом насоса посредством шлицевого соединения вала протектора *2.* ПЭД представляет собой асинхронный двигатель трехфазного тока в герметичном исполнении – помещен в стальную трубу, заполненную трансформаторным маслом. Ток питания подводится через бронированный кабель *4,* который спускается в скважину параллельно насосно-компрессорным трубам (НКТ) и крепится к ним хомутиками. Конец кабеля плоский. Кабель имеет кабельную муфту для соединения токоподвода с выводными концами статорной обмотки. Питание электродвигателя осуществляется от промысловой сети, напряжение которой регулируется автотрансформатором *6.* Управление и контроль за работой насоса проводят с помощью станции управления 7.

Длина электродвигателя (рис. 3.27) в зависимости от мощности может достигать 10 м. Статор двигателя состоит из магнитных *5* и немагнитных *4* пакетов, собранных в общем корпусе *2.* Обмотка статора (общая для всех пакетов) выполнена из масло- и теплостойких материалов. Ротор двигателя состоит из отдельных секций 6, собранных на валу 1. Между роторными секциями установлены промежуточные опорные подшипники ка-

чения или скольжения *3*. Скорость вращения ротора ПЭД составляет около 3000 об/мин.

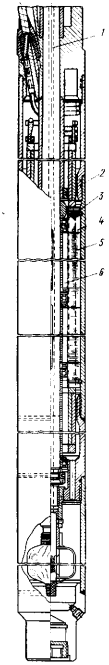


Рис. 3.27. Погружной электродвигатель

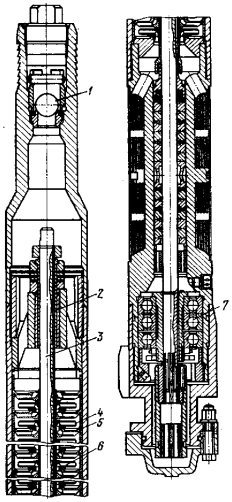


Рис. 3.28. Погружной центробежный электронасос

Для серийных центробежных насосных установок выпускают двигатели мощностью от 10 до 125 кВт. Наружные диаметры корпусов равны 103, 117 и 123 мм. В настоящее время выпускаются погружные электродвигатели в термостойком исполнении для эксплуатации установок при температурах до 95°С.

Погружной центробежный электронасос (рис. 3.28) монтируется также в стальной трубе. Рабочие колеса *4* собраны на валу *3* (на шпонке) скользящей посадкой. Колеса расположены в

соответствующих направляющих аппаратах *5* как на подпятниках. Для уменьшения трения в расточку нижнего диска колеса запрессованы текстолитовые шайбы *6*. Вал поддерживается подшипниками: верхним – скольжения *2* и нижним 7 – радиально-упорным. Число рабочих колец и направляющих аппаратов (ступеней) в серийно выпускаемых насосах колеблется от 84 до 332. Длина корпуса насоса не превышает обычно 5,5 м. При большом числе ступеней их размещают в двух, а иногда и в трех корпусах, соединенных в секции одного насоса. В соединительном патрубке верхней части насоса устанавливают обратный шариковый клапан 1, который необходим для заполнения НКТ жидкостью перед пуском насосного агрегата в эксплуатацию и удержания жидкости в них при вынужденных остановках работы скважины. Над обратным клапаном в конце НКТ имеется сливной патрубок, используемый для спуска жидкости при подъеме насосного агрегата на поверхность.

В зависимости от условий эксплуатации используют также насосы в износоустойчивом исполнении, которые применяют в обводненных скважинах со значительным содержанием песка (до 1 %). Рабочие колеса этих насосов изготовляют из полиамидной смолы, а в корпусе насоса устанавливают промежуточные резино-металлические подшипники.

Протектор состоит из двух герметично изолированных друг от друга секций, через которые проходит вал с двумя шлицевыми концами для соединения посредством специальных муфт с валами насоса н электродвигателя. Верхняя секция заполнена специальной смазкой для снабжения упорных подшипников насоса, а нижняя секция – трансформаторным маслом для подачи в электродвигатель по мере ее убыли при работе. Давление в секциях протектора несколько больше давления в скважине, что предотвращает возможность попадания скважинной жидкости в двигатель.

Корпусы насоса, протектора и электродвигателя соединены между собой фланцами. Наружные диаметры корпуса насоса и протектора соответственно равны 92 и 114 мм.

Устье скважины оборудуют устьевым оборудованием ОУЭН (рис. 3.29).

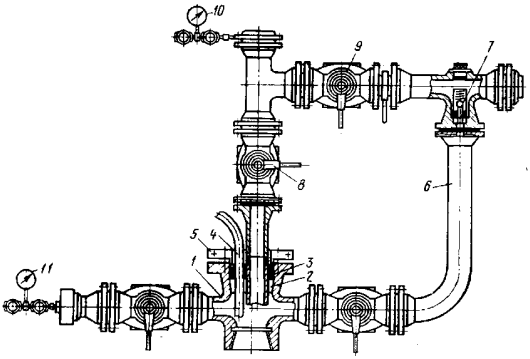


Рис. 3.29. Оборудование устья скважины

Насосный агрегат на НКТ подвешивают на специальной разъемной эксцентричной планшайбе *5,* имеющей отверстие для кабеля *4.* Крестовина 1 навинчивается на ответную муфту колонной головки и имеет боковые задвижки. Места ввода кабеля и НКТ уплотняются разъемным корпусом *2* и резиновым уплотнителем *3,* который поджимается разъемным фланцем. Межтрубное пространство соединено с выкидной линией *6,* на которой установлен обратный клапан *7* для отвода газа при работе скважины. Задвижка *8* позволяет спускать в скважину различные измерительные приборы и механические скребки для очистки подъемных труб от парафина. С этой целью на тройнике устанавливают лубрикатор. Задвижка *9,* установленная на выкиде устьевой арматуры, необходима для изменения режима работы скважины в процессе ее исследования. Давления на выкиде и в межтрубном пространстве замеряются манометрами *10, 11.*

3.1.9. Методы увеличения проницаемости призабойной зоны пласта

3.1.9.1. Причины низкой продуктивности скважин

Причинами низкой продуктивности скважин являются:
1) низкая естественная проницаемость продуктивного пласта;

2) снижение проницаемости призабойной зоны в процессе эксплуатации скважин;

3) недостаточная перфорация скважин

Естественная проницаемость призабойной зоны зависит от гранулометрического состава пород, слагающих продуктивные пласты, их глинистости, карбонатности и наличия в породах системы как естественных, так и искусственных трещин. Как уже отмечалось, основные потери давления при эксплуатации скважин происходят в призабойной зоне пласта, что объясняется сгущением линий токов по мере их приближения к забоям скважин и увеличением скоростей движения жидкости в перфорационных отверстиях. Поэтому для повышения производительности скважин на месторождениях с низкопроницаемыми пластами необходимо создавать, применяя различные способы воздействия на призабойные зоны пластов, дополнительные высокопроницаемые фильтрационные каналы.

Снижение продуктивности скважин происходит в процессе бурения в результате проникновения фильтрата глинистого раствора или самого глинистого раствора в призабойную зону пласта. При взаимодействии фильтрата глинистого раствора с пластовой минерализованной водой может происходить образование нерастворимых солей и выпадение их в осадок. Также могут образоваться стойкие эмульсии, и может снижаться фазовая проницаемость пород пласта для нефти. При контакте фильтрата глинистого раствора с породами происходит набухание глинистого цемента и закупоривание порового пространства. Снижение проницаемости призабойной зоны пласта наблюдается и при эксплуатации нефтяных скважин. В связи с падением давления в призабойной зоне пласта происходит нарушение термодинамического равновесия в пластовой системе и из нефти выделяется свободный газ, снижается температура и происходит отложение парафина и асфальтосмолистых веществ в породах и трещинах пласта.

Очень сильно загрязняется призабойная зона пласта и в результате попадания в нее рабочих жидкостей при проведении на скважинах различных ремонтных работ.

Снижение проницаемости призабойной зоны нагнетательных скважин происходит в результате бикарбонатного распада при закачке в пласт жесткой холодной воды и закупоривания пор и трещин продуктами коррозии, илом, нефтепродуктами, содержащимися в закачиваемой воде.

Нередко причиной низкой продуктивности скважины может быть недостаточная их перфорация вследствие применения маломощных перфораторов с малыми зарядами, особенно на глубоких скважинах, где энергия взрыва зарядов поглощается энергией больших гидростатических давлений.

Для увеличения или восстановления продуктивности скважин проводят различные мероприятия с целью повышения проницаемости призабойной зоны пласта увеличением размеров пор или созданием новых трещин, а также очисткой пор и трещин от закупоривающего материала.

3.1.9.2. Кислотные обработки скважин

Кислотные обработки скважин – один из эффективных и широко используемых методов по воздействию на призабойные зоны пластов.

Сущность кислотных обработок скважин заключается в том, что в призабойную зону пластов с помощью насосных агрегатов закачивают кислотные растворы, которые, вступая в реакцию с растворимыми включениями пород пласта, расширяют существующие в них поры и трещины или вновь создают разветвленную сеть фильтрационных каналов.

В качестве основных кислотных растворов, как в нашей стране, так и за рубежом применяют растворы соляной и фтористоводородной (плавиковой) кислот. Значительное применение за последнее время получили растворы бифторид–фторид аммония ($NH_4FHF + NH_4F$) в растворах соляной кислоты.

При воздействии на призабойную зону пластов растворами соляной кислоты происходит растворение карбонатов, содержащихся в породах продуктивного пласта:

$$CaCO_3 + 2\ HC1 = CaC1_2 + H_2O + CO_2;$$

$$Ca,Mg(CO_3)_2 + 4\,HC1 = CaCl_2 + MgCl_2 + 2\,H_2O + 2\,CO_2.$$

Растворимые соли хлористого кальция $CaC1_2$ и хлористого магния $MgCl_2$ легко удаляются из призабойной зоны пласта при пуске скважины в эксплуатацию. Углекислый газ в условиях высоких пластовых давлений полностью растворяется как в воде, так и в нефти и выносится на поверхность.

Нередко под действием кислотного раствора образуются длинные дренажные каналы, которые соединяются с высокопроницаемыми участками пласта, и производительность скважин увеличивается в десятки и даже в сотни раз по сравнению с первоначальной.

Глубина проникновения кислотного раствора в пласт и эффективность кислотной обработки в целом зависят от пластовых температуры и давления, концентрации кислотного раствора и химического состава пород, а также от объема кислотного раствора и скорости закачки его в пласт. При увеличении температуры выше 20 °С основная масса известняка растворяется сразу же в течение 5–20 мин. Следовательно, при обработке высокотемпературных скважин с целью обеспечения ввода кислотного раствора глубоко в пласт необходимо повышать скорость закачки кислоты или проводить предварительное охлаждение забоя скважины, применять различные замедлители реакции кислоты с породами пласта или получать кислоту непосредственно на забое или в призабойной зоне пласта.

С повышением давления скорость растворения пород в кислоте очень сильно замедляется. Например, при давлении 0,7 МПа время нейтрализации кислотного раствора 15%-ной концентрации при реакции с породами пласта в 6–10 раз увеличивается по сравнению со временем нейтрализации его в атмосферных условиях; при давлении 0,7–1 МПа время нейтрализации увеличивается в 30–35 раз, а при 2–6 МПа – в 70 раз.

В связи с вышеизложенным, кислотные обработки скважин условно подразделяют на простые кислотные обработки, т. е. путем продавки кислотного раствора в пласт на малой (первой) скорости насосного агрегата, и кислотные обработки под давлением. Последний вид кислотной обработки в основном при-

меняется на высокотемпературных скважинах с высокой карбонатностью пород призабойной зоны пласта.

На основе лабораторных опытов и практики установлено, что для обработки скважин необходимо применять 10–15 %-ные растворы соляной кислоты. Применение кислотного раствора большей концентрации вызывает интенсивную коррозию труб и оборудования и может привести к частичному растворению гипса, который выпадает в осадок. Однако с появлением эффективных ингибиторов коррозии, специального высокопроизводительного оборудования с хорошей противокислотной защитой, а также возможности быстрого удаления продуктов реакции из призабойных зон пластов в настоящее время стали использовать кислотные растворы более высокой концентрации (25–28 %).

В зависимости от карбонатности пород, их проницаемости и температуры на 1 м толщины пласта берут 0,4–1,6 $м^3$ кислотного раствора. Для обработки слабокарбонатных песчаных коллекторов достаточно и 0,4–0,6 $м^3$. Для обработки песчаных коллекторов обычно берут 0,4–0,6 $м^3$ на 1 м толщины пласта, а для обработки песчаников с более высокой проницаемостью и высокой карбонатностью – несколько большие объемы (0,8–1,0 $м^3$).

При обработке раствором соляной кислоты нагнетательных скважин с целью восстановления их приемистости, она реагирует с гидроокисью железа

$$Fe(OH)_3 + 3HCl = FeCl_3 + 3\ H_2O.$$

Растворимая соль хлорида железа может быть выброшена на поверхность изливаемой водой или закачана в глубь пласта при пуске скважины в эксплуатацию. Если призабойная зона нагнетательных скважин закупорена одновременно смесью коррозионных отложений, ила и высокомолекулярных компонентов нефти, то в результате кислотной обработки удается растворить продукты железа и диспергировать взвеси ила и нефтепродуктов, вынести их на поверхность изливом. Для обработки нагнетательных скважин рекомендуют брать большие объемы кислотных растворов, которые рассчитывают по количеству введенной в пласт вместе с закачиваемой водой гидроокиси железа.

Фтористоводородную (плавиковую) кислоту применяют для увеличения проницаемости призабойной зоны пластов, представленных терригенными породами, путем растворения песчано-глинистых включений пород пласта.

Реакция фтористоводородной кислоты с силикатными материалами происходит по схеме:

$$SiO_2 + 4HF = 2H_2O + SiF_4;$$
$$H_4Al_2SiO_9 + 14HF = 2A1F_3 + 2SiF_4 + 9H_2O.$$

Первая реакция HF с кварцем протекает настолько медленно, что не представляет собой практического интереса при обработке скважин. Вторая реакция с алюмосиликатами является наиболее важной для обработки скважин и протекает довольно быстро, хотя и значительно медленнее, чем реакция соляной кислоты с карбонатами.

Образовавшийся в результате реакции фтористый кремний реагирует с водой, находящейся в растворе, по следующей схеме:

$$2SiF_4 + 4H_20 = Si(HO)_4 + 2H_2SiF_4.$$

По мере снижения кислотности раствора $Si(OH)_4$ может превратиться из золя в студнеобразный гель, прочно запечатывающий часть порового пространства пласта. Кроме того, если в породах пласта содержатся карбонаты Ca и Mg, в процессе их реакции с плавиковой кислотой образуются труднорастворимые фториды CaF_2, MgF_2. Поэтому для обработки скважин применяется смесь соляной кислоты с плавиковой, которая называется глинокислотой или грязевой кислотой. За оптимальное количество составных частей в глинокислоте принимают содержание HF от 3 до 5 %, а HCl – от 8 до 10 %.

Для предотвращения образования в поровом пространстве геля кремниевой кислоты, а также фторидов перед глинокислотной обработкой скважины рекомендуется растворять карбонаты, содержащиеся в породах пласта, раствором соляной кислоты.

Как и плавиковая кислота, бифторид-фторид аммония применяется для приготовления рабочего раствора глинокислоты для обработки терригенных коллекторов. При растворении его в

соляной кислоте образуются плавиковая кислота и хлористый аммоний

$$NH_4F+HF+ HC1 =2\ HF + NH_4C1;$$
$$NH_4F+ HCl = HF+ NH_4C1.$$

Бифторид-фторид аммония обладает многими преимуществами. Стоимость 1 $м^3$ глинокислоты, приготовленной на основе бифторид-фторид аммония, значительно ниже стоимости 1 $м^3$ глинокислоты, полученной за счет использования товарной плавиковой кислоты. Образование в растворе NH_4C1 ее улучшает качество. Поскольку бифторид-фторид аммония – гетерогенный материал, он удобен в транспортировании и менее опасен для обслуживающего персонала, чем плавиковая кислота. Хранится и перевозится этот материал в двойных мешках (полиэтилен-бумага) или в бочках, выстланных полиэтиленовой пленкой.

3.1.9.3. Борьба с коррозией нефтепромыслового оборудования и вредным влиянием примесей в кислотном растворе при обработках скважин

Существенные недостатки кислотных обработок – это высокая коррозионная активность кислотных растворов и содержание в них вредных примесей железа, серной кислоты и др. Для борьбы с коррозией и предупреждения закупоривания пор и трещин железом и сульфатами в растворы кислот добавляют различные химические реагенты, называемые ингибиторами коррозии и стабилизаторами.

Ингибиторы коррозии. Скорость коррозии труб и оборудования при кислотной обработке зависит от концентрации кислотного раствора, температуры и давления. В высокотемпературных скважинах скорость коррозии настолько увеличивается, что становится практически невозможным проводить кислотные обработки без специальной подготовки кислотного раствора. В связи с коррозией металла кислотный раствор обогащается продуктами железа, уменьшается концентрация кислотного раствора.

Для снижения коррозионной активности кислотного раствора применяют специальные реагенты, называемые ингиби-

торами коррозии, добавление которых в небольших дозах в растворы кислот позволяет сохранить их первоначальную кислотность и защитить наземное и подземное оборудование от коррозионного разрушения. На промыслы заводы поставляют солянокислотные растворы с ингибитором коррозии уникола (ПБ-5). При дозировке 0,05 % уникола ПБ-5 коррозионная активность 10 %-ного кислотного раствора при нормальных условиях снижается в 15 раз, а при дозировке 0,5 % – в 42 раза. Однако с повышением температуры в скважине ингибиторный эффект раствора резко снижается. Например, при дозировке в 10%-ный кислотный раствор 0,1 % уникола ПБ-5 при температуре 70 °С скорость коррозии снижается только в 9 раз, а при 110 °С – всего в 7 раз. Кроме того, ингибитор ПБ-5 имеет еще один недостаток – способность высаливаться в минерализованной воде или выпадать в осадок в порах пласта в виде черной липкой массы после нейтрализации кислотного раствора.

В промысловой практике применяется много других, более эффективных ингибиторов коррозии, которые являются лучшими замедлителями реакции кислотного раствора с металлом. Они же обычно являются и замедлителями реакции кислот с породами в условиях высоких температур. К ним относится катапин А, дозировка 0,1 мас. % которого в кислотный раствор при температуре 70 °С снижает скорость коррозии в 31,6 раз. При нормальных условиях ингибиторный эффект катапина А достигает 55–65. Хорошие ингибиторы коррозии – это марвелан, уротропин и др. Однако большинство предложенных ингибиторов хорошо работают только при температуре до 100–110 °С. Поэтому кислотные обработки скважин с более высокими забойными температурами рекомендуется проводить с предварительным их охлаждением прокачкой холодной воды в течение 2–3 ч. В зависимости от скорости прокачки этим способом удается снизить температуру забоя до 50–80 °С.

Стабилизаторы. Заводы-поставщики выпускают растворы технической синтетической соляной кислоты 31 %-ной концентрации и технической кислоты I сорта 27,5 %-ной концентрации. В растворах этих кислот содержание железа не должно превышать 0,03 %, а H_2SO_4 –не более 0,04 %. Однако при транс-

портировании и хранении кислотного раствора содержание железа увеличивается. Железо, содержащееся в кислотном растворе, при обработке скважины выпадает в осадок в призабойной зоне пласта и закупоривает фильтрационные каналы, а серная кислота, соединяясь с карбонатами, образует нерастворимые даже в соляной кислоте соли $CaSO_4$ и $MgSO_4$. Кроме того, при соединении соляной кислоты с гипсом образуются гели кремниевой кислоты, также выпадающие в осадок.

Для удаления из солянокислотного раствора серной кислоты его обрабатывают хлористым барием

$$H_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4\downarrow + 2HC1$$

при этом сернокислый барий выпадает в осадок.

Чтобы предупредить выпадения продуктов железа и геля кремниевой кислоты в осадок в порах пласта, в солянокислотный раствор добавляют от 0,8 до 1,6 об. % уксусной кислоты. Уксусная кислота позволяет удерживать в растворе соли железа и алюминия в растворенном состоянии и замедляет процесс взаимодействия солянокислотного раствора с карбонатами. В то же время уксусная кислота растворяет и карбонаты.

3.1.9.4. Технология и техника кислотных обработок скважин

Приготовление раствора соляной кислоты. Ингибированная соляная кислота 27–31 %-ной концентрации поступает на промыслы с завода в гуммированных стальных железнодорожных или автомобильных цистернах, в бочках или фаолитовых контейнерах. Необходимый запас кислотного раствора хранят на базе в специальных стальных емкостях, также гуммированных внутри или покрытых химически стойкой эмалью или лаком в два-три слоя.

Рабочий кислотный раствор заданной концентрации готовят на кислотной базе или непосредственно около скважины перед ее обработкой. Количество товарной кислоты V_T, необходимое для получения заданного объема рабочего кислотного раствора требуемой концентрации, рассчитывают по формуле

$$V_m = \frac{\rho_з - 1000}{\rho_m - 1000} V_з,$$

где V_m – объем товарной кислоты, м^3; $\rho_т$ и $\rho_З$ – соответственно плотности товарной кислоты и заданного рабочего кислотного раствора, приведенные в справочниках, кг/м^3; $V_З$ –заданный объем кислотного раствора, м^3.

Объем воды, необходимый для приготовления заданного объема рабочего кислотного раствора, определяется по формуле

$$V_в = V_з - V_т.$$

Для приготовления рабочего кислотного раствора сначала в емкость набирают расчетный объем воды, затем наливают товарную кислоту, объем которой определяют по формуле. При этом кислотный раствор постоянно перемешивают.

Оборудование, применяемое при кислотной обработке скважин. Для проведения кислотной обработки применяют специальный агрегат Азинмаш-30, смонтированный на шасси автомобиля КрАЗ-257 или другого мощного автомобиля. Агрегат оснащен цистерной с двумя гуммированными секциями по 5,3 м^3 каждая и дополнительной прицепной цистерной вместимостью 6 м^3 с гуммированной внутренней поверхностью ее двух отсеков.

Агрегат Азинмаш-30 оснащен трехплунжерным горизонтальным одинарного действия насосом типа 2НК-500 со сменными цилиндрами диаметрами 110 и 90 мм, которые обеспечивают подачу от 1,03 до 12,2 л/с при давлениях закачки 5,0–7,6 МПа.

Также на промыслах применяют продавочные агрегаты типа ЦА-320А и 2АН-500. Поскольку эти агрегаты снабжены насосами не в кислотоупорном исполнении, во избежание их разрушения после окончания работы необходимо всю систему промывать чистой водой.

Перевозку и приготовление кислотных растворов осуществляют в автоцистернах 4ЦР вместимостью 9,15 м^3, ЦР-20 вместимостью 17,0 м^3 и в мерниках, гуммированных или покрытых лаками или эмалями. Последние перевозятся тракторами на санях или на тележках «Восток».

Технология кислотной обработки. На рис. 3.30 представлена наиболее типичная схема обвязки устья и оборудования скважины для проведения кислотной обработки.

В схеме имеется обратный клапан *10,* который предохраняет от излива кислотного раствора из скважины при вынужденных остановках насосов, связанных с пропусками в системе, отказом насосных агрегатов и т. п. Перед проведением кислотной обработки насосно-компрессорные трубы (НКТ) *3* спускают до забоя, промывают водой или нефтью скважину и проводят опрессовку системы также водой или нефтью на полуторное давление от ожидаемого.

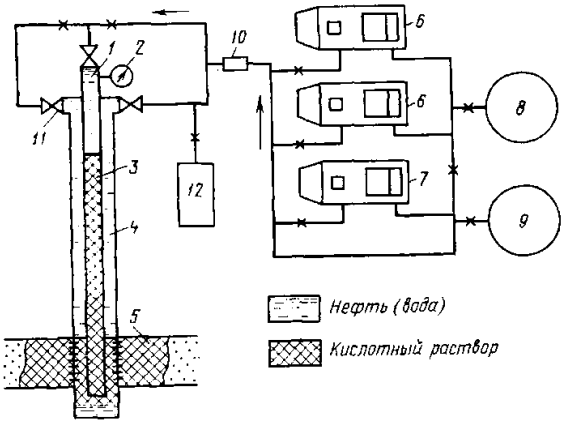


Рис. 3.30. Схема размещения оборудования при кислотной обработке скважины

После заполнения скважины нефтью или водой при открытом межтрубном пространстве *4* через устьевую арматуру *1* и НКТ насосными агрегатами *6* из емкости *8* начинают закачивать в скважину кислотный раствор до тех пор, пока первые порции кислотного раствора не дойдут до забоя. Затем задвижку *11* межтрубного пространства закрывают и в скважину закачивают весь заданный объем кислотного раствора с продавкой его в призабойную зону пласта *5.* После этого насосные агрегаты *6* останавливают, а насосным агрегатом 7 продавливают кислотный раствор из НКТ в пласт продавочной жидкостью из емко-

стей *9*. Объем продавочного раствора берут из расчета емкостей НКТ, межтрубного пространства прифильтровой зоны скважины и 0,1–0,2 м^3 дополнительного объема жидкости с тем, чтобы кислотный раствор несколько оттеснить от стенки скважины внутрь пласта.

После окончания продавки всего заданного объема кислотного раствора в пласт все агрегаты отсоединяют, а скважину оставляют под давлением на некоторое время для реагирования кислотного раствора с породами пласта. Длительность реагирования кислотного раствора с породами зависит от температуры и пластового давления, а также карбонатности и глинистости пород пласта.

На месторождениях с забойными температурами, не превышающими 40 °С, скважину пускают в эксплуатацию после обработки на другой день (12–16 ч), а высокотемпературные скважины (100–150 °С) – через 2–3 ч после продавки кислотного раствора в пласт. Если породы представлены глинистыми карбонатами или поры и трещины закупорены отложениями парафина и асфальтосмолистых веществ, скважину оставляют на более длительный срок реагирования. Этим добиваются проникновения кислотного раствора через слой глинистых пород и пленки высокомолекулярных углеводородов и контактирования с карбонатными породами.

Для ускорения освоения скважины после кислотной обработки в схеме обвязки скважины предусматривают подсоединение передвижного пускового компрессора 12 по кольцевой системе или газопровода высокого давления системы газлифтной эксплуатации скважин. С целью предупреждения коррозии обсадных труб вызов притока и освоение скважины проводят через НКТ.

При обработке нагнетательных скважин отработанную кислоту можно выбросить на поверхность самоизливом скважины или с применением метода аэрации, или продавить в глубь пласта закачиваемой водой. В качестве продавочной и промывочной жидкостей используют воду, подаваемую с кустовых насосных станций по разводящим водоводам.

Рассмотренная схема обвязки устья и оборудования скважины для кислотной обработки применяется в том случае, если в процессе закачки кислоты в пласте не ожидается высоких давлений нагнетания, превышающих допустимые при данном диаметре обсадных труб. Если это давление окажется выше допустимого, а также, если кислотная обработка проводится на старых скважинах или на скважинах бывших в ремонте в связи с негерметичностью их колонны, кислотные обработки проводят с применением пакера. На высокотемпературных скважинах, где необходимо закачку кислоты проводить в карбонатные коллекторы на больших скоростях, число насосных агрегатов увеличивают.

Контроль за давлением при кислотных обработках проводят по манометру 2, установленному на продавочной головке, а также по манометрам насосных агрегатов. Скорость закачки кислотного раствора и его продавки в пласт определяется по градуированным отметкам мерников насосных агрегатов, а также с помощью мерной рейки в емкостях *8* и *9*. Для оценки эффективности кислотной обработки в процессе освоения скважины рекомендуется отбирать пробы с отработанной жидкостью для определения их кислотности.

3.1.9.5 Солянокислотная обработка высокотемпературных скважин

Эффективность кислотных обработок скважин с повышением температуры очень сильно снижается. Это объясняется в основном двумя причинами:

1) при транспортировке горячего кислотного раствора из-за коррозии уменьшается его активность; 2) горячий кислотный раствор, попадая в призабойную зону, сразу вступает в реакцию с породами пласта около стенки скважины и теряет свою активность.

Для борьбы с коррозией нефтепромысловых труб и сохранения высокой кислотности раствора применяют различные ингибиторы коррозии, а для замедления реакции кислотного раствора с породами пласта – замедлители. Обычно эффективные ингибиторы коррозии одновременно являются и замедлителями.

В соответствии с конкретными геолого-физическими условиями месторождений и наличием различных технических средств для повышения эффективности кислотных обработок высокотемпературных скважин применяют различные технологические приемы: повышают скорость закачки кислотного раствора в пласт, проводят охлаждение скважины перед ее обработкой путем прокачки холодной воды или нефти, применяют НКТ, внутренние поверхности которых покрыты бакелитовым лаком или остеклованы, чередуют закачку кислотного раствора с закачкой нефтепродуктов, применяют различные углеводородно-кислотные эмульсии, проводят кислотные обработки скважин с получением кислотных растворов на забое или непосредственно в призабойной зоне пласта и др. Рассмотрим некоторые из этих методов более подробно.

Обработка высокотемпературных скважин с применением гидрофобных углеводородно-кислотных эмульсий

Гидрофобные кислотные эмульсии сохраняют в течение определенного времени кислоту в качестве дисперсной фазы и предотвращают вступление ее в реакцию с металлом и породами пласта. Этим достигается возможность транспортирования активного кислотного раствора до забоя и проникновение его в удаленные зоны пласта.

Стойкие углеводородно-кислотные эмульсии получают при добавлении эмульгаторов, которые образуют на границе двух фаз третью фазу, представляющую собой адсорбционные слои. Эти слои обладают аномальными свойствами – повышенной структурной вязкостью, упругостью и механической прочностью на сдвиг, определяют стойкость эмульсии.

В обычных нефтяных и нефтекислотных эмульсиях роль гидрофобных эмульгаторов выполняют растворенные в нефти низкомолекулярные соединения типа щелочно-земельных солей нафтеновых кислот или высокомолекулярные соединения типа асфальтенов и смол, находящиеся в нефти в коллоидно-пептизированном состоянии, и бронирующие твердые эмульгаторы, образуемые высокоднеперсными инактивными частицами пород. Высокомолекулярные соединения типа асфальтенов и смол имеют низкую поверхностную активность, образующиеся за-

щитные пленки обладают высокой прочностью и обеспечивают большую устойчивость эмульсии. Нефтекислотные эмульсии, стабилизированные естественными эмульгаторами, могут иметь очень большую вязкость, так как под действием кислоты защитные пленки становятся более прочными, даже «жесткими» структурами. Поэтому для получения качественных нефтекислотных эмульсий необходимо использовать маловязкие нефти или светлые нефтепродукты с меньшим содержанием асфальтосмолистых веществ с введением эффективных эмульгаторов.

Для обработки глубоких скважин (3500–4000 м) с температурой 140–150 °С успешно применяют солярокислотный раствор следующего состава: 69 % раствора соляной кислоты 11 %-ной концентрации, 30 % солярового масла, 0,5–1 % моноэтаноламида (МЭА). Солярокислотная эмульсия гидрофобна и обладает всеми необходимыми качествами для использования ее в условиях высоких температур. Коррозионная активность солярокислотной эмульсии при температуре 90 °С уменьшается в 2–2,5 раза, а при 20 °С эмульсия совсем не реагирует с металлом. При взаимодействии солярокислотной эмульсии с карбонатной породой скорость реакции по сравнению с чистым раствором соляной кислоты при температурах 100, 110 и 120 °С в течение 15 мин замедляется в 4,2–2,15 раза, а в течение 30 мин – в 2–1,2 раза. Приготовление солярокислотной эмульсии проводится непосредственно около скважины путем перекачки заданного объема солянокислотной смеси с добавкой эмульгатора насосами продавочных агрегатов по системе замкнутой циркуляции.

Кислотные обработки высокотемпературных скважин с предварительным покрытием поверхностей пор и трещин тонким слоем нефти

Сущность этого метода заключается в том, что в высокотемпературные скважины закачивают последовательно одну за другой в несколько приемов порции кислотного раствора и нефти. Когда первая порция кислотного раствора проникнет в призабойную зону пласта, в условиях высоких температур сразу происходит реакция с карбонатными породами и получают раствор хлористого кальция и углекислоту. Вслед за кислотой в

обработанную зону пласта подают нефть, которая вытесняет в глубь пласта продукты реакции и покрывает поверхности пор и трещин пленкой нефти. Затем в пласт закачивают новую порцию кислоты, которая из-за наличия нефтяной пленки на поверхностях пор и трещин не успевает контактировать с карбонатами первой обработанной зоны и проталкивается в более удаленные зоны пласта последующей порцией нефти, вступая в реакцию с породами в новой необработанной зоне пласта и т. д. После закачки в призабойную зону пласта всего заданного объема кислотного раствора и нефти порциями скважину оставляют под давлением для реагирования кислотного раствора с породами пласта на 8–12 ч и снова пускают в эксплуатацию. За этот период происходит восстановление температуры в призабойной зоне пласта до первоначальной, что приводит к расплавлению и разрыву пленок нефти и контакту горячего кислотного раствора с карбонатными породами и их растворению. Кроме того, горячий кислотный раствор, проникая в мелкие поры и трещины пород пласта, создает новые фильтрационные каналы в призабойной зоне, в результате чего приток нефти в скважину увеличивается.

При кислотной обработке высокотемпературных скважин по описанной методике значительно снижается кислотная коррозия НКТ. Это объясняется тем, что порции нефти, движущиеся впереди порций кислотного раствора, покрывают тонким слоем внутренние поверхности труб и затрудняют их контактирование с кислотой.

3.1.9.6. Обработка скважин с получением кислоты на забое

Практически полного устранения коррозии нефтепромыслового оборудования, а также увеличения радиуса обработки призабойной зоны в условиях высоких пластовых температур можно достигнуть проведением кислотной обработки скважин с получением кислотного раствора на забое или непосредственно в пласте около ствола скважины в результате химической реак-

ции водного раствора формальдегида 37–40 %-ной концентрации (формалина) и хлористого аммония:

$$4\ NH_4Cl + 6\ HCHO \rightarrow C_6H_{12}N_4 + 4\ HCl + H_2O.$$

Выделяющаяся соляная кислота реагирует с карбонатными породами.

При реакции по указанной выше формуле получается гексаметилен-тетрамин (уротропин), который, взаимодействуя с кислотой, снова образует формальдегид. Поэтому берется избыточное количество хлористого аммония по сравнению с расчетным.

На основе лабораторных исследований, проведенных при давлении 20 МПа и температуре 150 °С, а также промысловых опытов при глубине скважин 3100–3500 м и температурах до 140–150 °С установлено, что оптимальными соотношениями формалина и хлористого аммония, при которых получаются наибольшие количества кислоты (12 %-ной концентрации), являются:

1) при соединении формалина с водным раствором хлористого аммония – 41 массовая часть формалина, 18 массовых частей хлористого аммония и 41 массовая часть воды;

2) при соединении формалина с кристаллической солью – хлористого аммония –1,5 массовой части формалина и 1 массовая часть хлористого аммония.

Технология кислотной обработки скважин с получением кислотного раствора на забое или в пласте может проводиться по следующим технологическим схемам.

1 Раздельная закачка формалина и раствора хлористого аммония проводится по двум каналам: раствор хлористого аммония по НКТ, а формалин – по межтрубному пространству. Для этого в НКТ при открытом межтрубном пространстве сначала закачивают расчетный объем формалина, а затем через буферную углеводородную жидкость (100–300 л в зависимости от диаметра НКТ) закачивают также расчетный объем раствора хлористого аммония. Когда первая порция раствора хлористого аммония дойдет до башмака НКТ, межтрубное пространство закрывают и, не останавливая подачи хлористого аммония, из него вторым насосным агрегатом начинают продавливать в

пласт формалин. Формалин и раствор хлористого аммония, встречаясь у башмака НКТ, смешиваются и поступают в пласт. При этом заранее нужно рассчитывать скорости закачки обоих компонентов таким образом, чтобы у башмака труб получить заданное их соотношение. Продавку компонентов в пласт проводят углеводородной жидкостью в нефтяных и газовых скважинах и водой – в нагнетательных скважинах. После выдержки скважины под давлением скважину осваивают одним из обычных способов.

2 При открытом межтрубном пространстве в скважину закачивают формалин, затем – смесь буферной углеводородной жидкости с кристаллической солью хлористого аммония. Так же, как и по первой схеме, после достижения хлористым аммонием конца НКТ межтрубное пространство закрывают и каждый компонент по отдельным каналам при расчетных скоростях продавливают в продуктивный пласт. Взаимодействие компонентов начинается на забое ниже башмака НКТ и заканчивается в пласте.

Преимуществом второй схемы является то, что полностью исключается коррозия НКТ и во много раз замедляется скорость реакции смеси с породами пласта.

Недостаток второй схемы заключается в возможности образования на забое пробки из кристаллов соли хлористого аммония, если при достигнутых давлениях закачки смеси не происходит раскрытия трещин пласта. Поэтому перед обработкой необходимо определить давления, при которых происходит раскрытие трещины продуктивного пласта. Эти давления должны быть ниже ожидаемых максимальных давлений при продавке реакционной смеси в пласт.

3. По схеме гидравлического разрыва пласта в трещины призабойной зоны вместе с углеводородной жидкостью вводят кристаллическую соль хлористого аммония с песком или без песка. Затем переходят на первую скорость закачки формалина, который также продавливают в пласт. Для предупреждения преждевременной реакции хлористого аммония с формалином между ними закачивают буферную углеводородную жидкость. Необходимость применения пакера решается в зависимости от

величины критического давления раскрытия трещин продуктивного пласта на данной скважине. Если это давление ниже допустимого давления опрессовки обсадных труб, процесс проводят без применения пакера, если больше – с применением пакера.

Реакция компонентов происходит в удаленных частях пласта. Обработку скважины по этой схеме без песка рекомендуется проводить на месторождениях с карбонатными породами, а с песком – на месторождениях с терригенными породами как в нефтяных, так и в нагнетательных скважинах. При подаче солей хлористого аммония с песком совмещают два процесса – кислотную обработку и гидравлический разрыв пласта. Гидравлический разрыв пласта осуществляется с редким (неплотным) распределением песка в трещинах пласта, вследствие чего во много раз увеличивается проницаемость трещин гидравлического разрыва. Соотношение песка и кристаллической соли хлористого аммония можно брать в пределах 1:1–6:1.

Реакционная смесь, полученная соединением формалина с хлористым аммонием, оказывается во много раз менее коррозионно-активной, чем соляная кислота 15 %-ной концентрации. Поэтому целесообразно кислотные обработки скважин проводить с получением кислотного раствора около скважины непосредственно перед ее обработкой.

Преимущества проведения кислотных обработок с применением новой рецептуры заключаются в следующем.

1 Нет необходимости завозить большие объемы агрессивной соляной кислоты в труднодоступные далекие нефтяные районы. Вместо этого нужно перевозить кристаллическую соль хлористого аммония в мешках и раствор инертного по отношению к металлу формальдегида в половинном объеме (по сравнению с объемом соляной кислоты).

2 Не требуется иметь на базах емкости больших объемов; при длительном хранении кислотного раствора в условиях базы очень часто происходят разъедание емкостей и утечка кислотного раствора.

3 В связи с дефицитностью ПАВ в условиях разведки не всегда можно подобрать эффективные ингибиторы коррозии и

кислотные обработки часто проводят с применением неингибированной кислоты, что сильно снижает их эффективность.

3.1.9.7. Пенокислотная обработка скважин

Значительного замедления реакции кислотного раствора с породами и увеличения радиуса действия можно достичь при пенокислотной обработке скважин.

Пенокислота состоит из кислотного раствора, поверхностно-активного вещества (пенообразователя) и воздуха (газа). Раствор кислоты находится в межпузырьковом пространстве и удерживается там вследствие гидратации молекул ПАВ. При контакте с карбонатной породой в призабойной зоне пласта пенокислота нейтрализуется не сразу, а лишь частично, что особенно важно при обработке высокотемпературных скважин. Этим удается постепенно закачать пенокислоту с достаточной активностью в более удаленные зоны пласта.

Существенное преимущество пенокислоты по сравнению с обычным кислотным раствором – ее способность кратно увеличивать охват обрабатываемого пласта. Это объясняется малой плотностью пен (400–800 кг/м^3), повышенной вязкостью, селективностью проникновения пены в более крупные трещины и способностью временно их закупоривать вследствие прилипания пузырьков пены к стенкам трещин, тем самым, создавая благоприятные условия для воздействия на трещины и поры меньших размеров. После пенокислотной обработки обычно происходит более полное удаление из призабойной зоны пласта продуктов реакции кислоты с породами, что объясняется следующим. Поскольку обработанная ПАВ жидкая фаза обладает лучшей смачиваемостью поверхностей пород, она вместе с высокодисперсными пузырьками воздуха проникает между пленками нефти, ее высокомолекулярными отложениями и стенками пор и трещин, где происходит реакция с растворимыми породами. А при создании депрессии вследствие снижения давления пузырьки воздуха расширяются и происходит отлипание отложений парафинов и асфальтосмолистых веществ и разрыв пленок нефти. При дальнейшем понижении давления пузырьки

воздуха еще больше расширяются, что приводит к кавитации и увеличению скоростей фильтрационных потоков.

При пенокислотной обработке применяют солянокислотный раствор 15 %-ной концентрации с ингибиторами коррозии катапином А или КИ-1 концентрацией 0,1–0,2% с добавлением уксусной кислоты как стабилизатора. За последнее время с появлением эффективного ингибитора коррозии В-2 концентрацию кислоты доводят до 25–33 %, т. е. берут товарную кислоту.

В качестве пенообразователя применяют поверхностно-активные вещества ОП-10, шкопау, марвелан (КО), дисолван, превоцел и другие концентрацией 0,3–0,5 мас. %.

3.1.9.8. Гидравлический разрыв пласта

Сущность гидравлического разрыва пласта (ГРП) заключается в том, что в скважину под высоким давлением, превышающим гидростатическое в 1,5–3,0 раза, закачивают жидкость, в результате чего в призабойной зоне пласта раскрываются существующие трещины или образуются новые. Для предупреждения смыкания этих трещин в них вводят крупнозернистый песок и снижают давление до забойного. В результате увеличивается проницаемость призабойной зоны пласта или соединяются посредством этих трещин высокопроницаемые участки пласта со стволом скважины и продуктивность ее резко повышается [20].

Механизм ГРП заключается в том, что при закачке в пласт жидкости она прежде всего проникает в высокопроницаемые трещиноватые участки пласта и давления в них сильно возрастают. В результате возникают перепады давлений между высоко- и низкопроницаемыми участками пласта, и в высокопроницаемых участках происходит раскрытие существующих или образование новых трещин.

Следовательно, для осуществления ГРП необходимо преодолеть напряжения в призабойной зоне продуктивного пласта, создаваемые горным давлением и прочностью самих пород:

$$P_р=p_г+C \text{ или } P_р=H\rho_п g+C,$$

где $\rho_р$ –давление разрыва, МПа; $р_г$ – горное давление, МПа; С – давление, необходимое для преодоления сопротивления самих горных пород разрушению, МПа; Н – глубина залегания продуктивного пласта, м; $\rho_п$ – средняя плотность вышележащих горных пород, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Если принять среднюю плотность вышележащих пород (горных) $\rho_п$=2400 –2600 кг/м^3, градиент разрывного давления должен быть не меньше 0,024–0,026 МПа/м. Однако при первых же опытах ГРП наблюдалось расслоение пород пласта при значительно меньших давлениях по сравнению с горным. Академик С.А. Христианович и профессор Ю.П. Желтов объясняют это наличием в продуктивных пластах микро- и макротрещин и разгрузкой напряжений в призабойной зоне пласта в результате пластических деформаций вышележащих глин и глинистых пород при бурении и их выдавливанием в ствол скважины. Величина и радиус разгрузки зависят от пластичности глин, радиуса трещин и каверн, а также глубины залегания пласта. Замечено, что с увеличением глубины залегания продуктивного пласта разрывной градиент давления уменьшается, что обусловливается увеличением числа глинистых пластов и пропластков, находящихся над продуктивным пластом. Например, на месторождениях Арлан и Узень при глубине залегания продуктивных пластов 1300–1400 м градиент разрывного давления составляет 0,016–0,020 МПа/м; на месторождениях Татарии и Башкирии на глубинах 1650–1800 м разрывной градиент давления составляет 0,014–0,017 МПа/м, а на глубинах 3200–3500 м месторождений Северного Кавказа –0,0105–0,013 МПа/м. Такие низкие градиенты разрывного давления на месторождениях Северного Кавказа можно объяснить наличием развитой системы трещин в пласте и значительными отложениями майкопских глин (1500–2000 м) выше него, а также чередованием других многочисленных глинистых пропластков. Поэтому практически давление гидравлического разрыва пласта можно определить по формуле

$$P_р=(0,014–0,026)H\rho_п g.$$

Процесс ГРП проводится в три стадии: закачка в пласт жидкости разрыва для образования трещин в призабойной зоне

пласта; введение в полученные трещины крупнозернистого песка для сохранения их в открытом состоянии; закачка продавочной жидкости для введения оставшегося в насосно-компрессорных трубах песка в трещины пласта.

Рабочие жидкости, используемые при гидравлическом разрыве пласта, разделяются на жидкость разрыва, жидкость-песконоситель и продавочную жидкость. Рабочие жидкости, нагнетаемые в пласт, не должны уменьшать ни абсолютную, ни фазовую проницаемость пород пласта, не должны содержать в своем составе посторонних механических примесей и при соединении с пластовыми жидкостями и породами давать нерастворимых осадков, не должны вызывать набухания глинистых включений пород пласта.

3.1.10. Очистка ствола скважины от песочных пробок

При эксплуатации скважин происходят осложнения, связанные с разрушением неустойчивых пород призабойной зоны и образованием песчано-глинистых пробок в прифильтровой части обсадных труб и в подъемных трубах. В зависимости от природы и интенсивности выноса пород толщина песчано-глинистых пробок иногда достигает 200–400 м, в связи с чем, нередко продуктивность скважины снижается вплоть до полного прекращения подачи жидкости.

Разрушение и удаление скопившегося в скважине песка проводят с применением желонки, бесструбного гидробура или путем проведения промывки скважины жидкостью с доспуском труб.

Обычная желонка представляет трубу диаметром 75–100 мм, длиной 8–12 м с тарельчатым или шариковым клапанами. Желонка спускается в скважину на тартальном канате. Не доходя до песчаной пробки на 10–15 м, лебедка снимается с тормозов, и желонка летит под действием силы тяжести и ударяется в песчаную пробку. При этом клапан открывается, в желонку набираются песок и куски глинисто-песчаного материала, и она поднимается на поверхность. Для полного наполнения песком желонку несколько раз ударяют по пробке.

Имеются желонки пневматического действия, которые представляют собой герметичную трубу указанных диаметров с механическим клапаном и с пикообразным штырем снизу. Клапан в закрытом состоянии поддерживается пружиной. При ударе пикой о пробку клапан открывается, и разрыхленный песок под действием давления напора жидкости в скважине всасывается в желонку. При уравновешивании давления клапан закрывается, и желонка с песком поднимается на поверхность.

Существуют также поршневые желонки.

Для разрушения плотных песчаных пробок применяют беструбный гидробур (рис. 3.31), который состоит из плунжерного насоса *2,* желонки 6 с сифоном 5 и долота *8.* После падения гидробура на забой плунжер *1* насоса под действием силы тяжести вытесняет жидкость из цилиндра через боковой клапан *4.* При подъеме гидробура плунжер *1* перемещается вверх, клапан *4* закрывается, а шаровой клапан *3* открывается и жидкость из желонки всасывается в цилиндр насоса. Одновременно с этим в желонку из-под долота 8 через трубку 7 вместе с жидкостью всасывается песок. После попадания песчано-жидкостной смеси в желонку резко снижается ее скорость и песок оседает на дно желонки. После нескольких ударов о песчаную пробку желонка заполняется песком и гидробур поднимается на поверхность. Разгрузка песка из гидробура проводится при снятии долота.

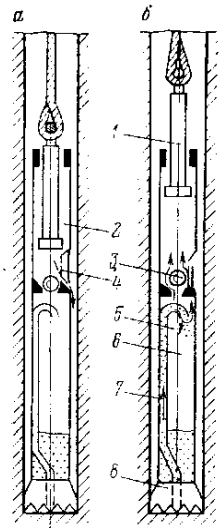


Рис. 3.31. Беструбный гидробур при: *а – падении на забой; б – подъеме*

Если вместо долота и трубки на конец гидробура поставить клапан, он может работать как обычная пневматическая желонка.

Чистка песчано-глинистых пробок с применением желонок и гидробура крайне неэффективна. При этом сильно изнашива-

ются канаты, детали кронблока и талевого блока и изнашиваются обсадные трубы. Работы с желонками и гидробуром рекомендуется проводить только на скважинах, глубина которых не превышает 1000 м, или на истощенных месторождениях с низкими пластовыми давлениями и высокой проницаемостью призабойной зоны пласта.

Удаление песчаных пробок в настоящее время в основном проводится промывкой скважины водой или углеводородной жидкостью. Для этого до песчаной пробки спускают насосно-компрессорные трубы со скошенным концом и через них или по межтрубному пространству с большой скоростью прокачивают жидкость. Под действием струи жидкости песчаная пробка размывается, и песок и обломки породы восходящим потоком выносятся на поверхность. По мере промывки насосно-компрессорные трубы доспускаются. Для повышения эффективности работы по промывке песчаной пробки проводят «легкое долбление» песчаной пробки многократным спуском с небольшой глубины (0,2–0,5 м) НКТ со скошенным концом.

Способ промывки, при котором промывочная жидкость закачивается через насосно-компрессорные трубы, а жидкость с песком поднимается на поверхность по кольцевому пространству, называется прямой промывкой.

Если промывка скважины проводится закачкой жидкости через кольцевое пространство, а подъем жидкости с песком происходит через насосно-компрессорные трубы, способ промывки называется обратной промывкой.

Основным условием как при прямой, так и при обратной промывках является то, что скорость восходящего потока жидкости в насосно-компрессорных трубах или в кольцевом пространстве должна быть больше скорости падения самых крупных зерен песка. Средняя скорость падения зерен песка $\upsilon_п$ различного диаметра d в воде может быть принята следующая:

d, мм	0,3	0,25	0,2	0,1	0,01
υ, м/с	3,12	2,53	1,95	0,65	0,07

На рис. 3.32 показана схема оборудования скважины для промывки ее. При прямой промывке закачку жидкости проводят насосными агрегатами через стояк *9,* промывочные шланги *2,* вертлюг *3* и насосно-компрессорные трубы *4,* подвешенные на крюке *1*. Задвижки *13* и *11* при этом закрыты. Жидкость, выходя из конца промывочных труб с большой скоростью, разрушает песчаную пробку, и размытая порода по межтрубному пространству поднимается до устья и через выкид *14* тройника 7 выбрасывается в приемную емкость. После отстоя жидкость можно снова использовать для промывки.

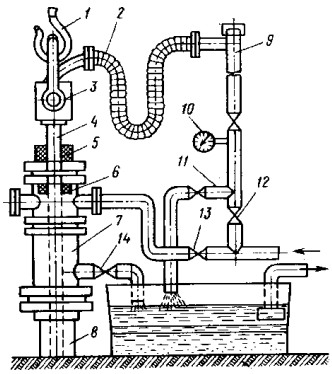


Рис. 3.32. Схема оборудования устья скважины для промывки

Для проведения промывки скважины по схеме обратной промывки при закрытых кранах *12* и *14* жидкость закачивают в межтрубное пространство *8,* Жидкость, достигая забоя, захватывает размытую породу и через промывочные трубы *4,* вертлюг *3,* промывочный шланг *2* и стояк *9* через выкид *11* выбрасывается в приемную емкость. Контроль за давлением в межтрубном пространстве в процессе обратной промывки проводится по манометру *10.*

Как при прямой, так и при обратной промывке применяется промывочная головка *6,* снабженная сальниковым устройством *5,* которое герметизирует устье скважины и позволяет доспускать трубы с муфтами по мере размыва песчаной пробки без остановки прокачки жидкости.

Существенный недостаток прямой промывки – сравнительно низкая скорость восходящего потока жидкости, вследствие чего размытый песок медленно поднимается на поверхность. При большом диаметре обсадной колонны скорости восходящего потока могут оказаться недостаточными для выноса размытой породы.

Обратная промывка имеет ряд преимуществ по сравнению с прямой промывкой.

1 Скорость восходящего потока в несколько раз больше по сравнению с прямой промывкой, вследствие чего скорость ликвидации песчаной пробки увеличивается, и длительность всей работы сокращаются.

2 Исключается возможность прихвата промывочных труб.

3 Обратную промывку можно проводить с меньшим расходом жидкости, так как из-за малого диаметра промывочных труб скорость восходящего потока быстро становится выше скорости падения песка в жидкости.

Однако обратная промывка обладает существенным недостатком, заключающимся в том, что сильно повышается забойное давление, вследствие чего может происходить поглощение промывочной жидкости в пласт, особенно в раздренированных залежах с низкими пластовыми давлениями. Кроме того, на устье скважины обязательно нужно иметь надежное герметизирующее устройство, которое одновременно должно обеспечивать и пропуск труб с муфтами через себя при доспуске их.

В качестве промывочной жидкости применяют воду, нефть и реже глинистый раствор. Однако применение воды связано с ее поглощением и возможностью загрязнения призабойной зоны пласта. В результате может снижаться фазовая проницаемость пород или вообще снижаться проницаемость пород призабойной зоны пласта вследствие набухания глинистых частиц. Для уменьшения вредного влияния воды на фильтрационные характеристики призабойной зоны пласта в нее добавляют ПАВ.

Глинистый раствор для промывки песчаных пробок применяется в исключительных случаях на фонтанных скважинах с высоким пластовым давлением, с тем чтобы не допустить неуправляемого выброса и фонтанирования.

Промывка скважин с применением углеводородных жидкостей (нефти, дизельного топлива и др.) вызывает меньше осложнений. Однако этот способ дорог и требует особых мер пожарной безопасности.

На месторождениях с низкими пластовыми давлениями **с** целью предупреждения поглощения промывочной жидкости

пластом промывку скважины проводят с применением аэрированной жидкости.

Промывку песчаных пробок проводят специальными промывочными агрегатами Азинмаш-32М и Азинмаш-35. Насосный агрегат Азинмаш-32М смонтирован на тракторе Т-100М. Насос – трехплунжерный, горизонтальный, одинарного действия, с давлениями на выкиде от 4 до 16 МПа и подачей от 10 до 3 л/с. Напорная линия диаметром 50 мм комплектуется угловым пробковым краном высокого давления. Агрегат Азинмаш-35 монтируется на шасси автомобиля ЗИЛ-130, диапазон давлений от 4 до 16 МПа, подача от 17 до 4 л/с.

Для промывки песчаных пробок также применяют продавочные агрегаты ЦА-320. Для перевозки технологической жидкости используют автоцистерны 3АЦ и 4АЦ и др.

3.1.11. Капитальный ремонт скважин

Наиболее характерные работы при капитальном ремонте скважины: изоляционно-восстановительные, ремонтно-исправительные, ловильные, а также зарезка и бурение вторых стволов [10].

Изоляционно-восстановительные работы заключаются в ликвидации прорыва в скважину пластовых вод (верхних или нижних по отношению к эксплуатационному нефтяному горизонту или пропластку) путем цементирования **ее** ствола в заданном интервале.

Изоляцию верхней воды, поступающей через нарушение в колонне, проводят следующими способами:

- заливкой цементным раствором, затворенным на водяной основе, через нарушение в колонне под давлением с последующим разбуриванием цементного кольца;
- заливкой нефтецементным раствором с последующим вымыванием его излишков;
- спуском дополнительной предохранительной колонны и цементированием ее;
- спуском специальных пакеров;

- «латанием» путем спуска в скважину гофрированной тонкостенной трубы и распрямления ее и прижатия высоким давлением жидкости к внутренней стенке обсадной трубы в интервале нарушения.

Изоляцию верхней воды, поступающей по межтрубному пространству, через отверстия фильтра проводят:

- заливкой цементным раствором через отверстия фильтра с последующим разбуриванием цементного стакана или с вымыванием излишков цементного раствора;

- заливкой нефтецементным раствором через фильтр с последующим вымыванием излишков нефтецементного раствора.

Во избежание попадания цементного раствора в эксплуатационный пласт отверстия фильтра затрамбовывают песком и, если это необходимо, создают цементный стакан над насыпной пробкой ниже дефекта в колонне.

Закачку раствора можно проводить через заливочные трубы и без труб. По истечении срока твердения раствора колонну испытывают на герметичность опрессовкой, после чего разбуривают цементный стакан в колонне ниже дефекта на 10–15 м или до насыпной пробки. Затем место дефекта испытывают на герметичность понижением уровня жидкости и опрессовкой, разбуривают цементный стакан и песчаную пробку и промывают скважину до забоя.

Верхнюю воду, поступающую по межтрубному пространству к забою скважины по трещинам, нарушениям и каналам в пласте, а затем через отверстия фильтра, изолируют цементированием через эти отверстия.

Борьба с обводнением скважины сводится к селективной изоляции водяной зоны, применению нефтецементных растворов, способных затвердевать в водонасыщенной среде и оставаться жидкими и подвижными в нефтенасыщенной зоне.

Также для селективного ограничения притоков пластовых вод в трещины призабойной зоны пласта по схеме гидроразрыва пласта вводят гранулированный или порошковый магний с песком в соотношении 1:6, сбрасывают давление и вызывают приток с очень низкой скоростью до появления пластовой воды. Затем скважину оставляют для проведения реакций гидролиза

магния с пластовой водой и образования магнезиального цемента при взаимодействии окиси магния с хлоридами, содержащимися в пластовой воде. Смесь гидроокиси магния, магнезиального цемента и песка прочно схватывается в трещинах пласта и ограничивает или полностью изолирует приток пластовой воды в скважину. Магний же, введенный в трещины, пласта, остается в неизменном состоянии и вместе с песком удерживает эти трещины в открытом состоянии.

Нижние воды могут проникнуть к эксплуатационному объекту через цементный стакан вследствие недоброкачественного цементирования или разрушения этого стакана.

Для создания нового цементного стакана разбуривают до прежнего забоя разрушенный стакан, а затем промывают ствол скважины. В этом случае процесс цементирования лучше осуществлять по способу «сифон» с помощью желонки (в неглубоких скважинах) или заливочного агрегата (в глубоких скважинах). Раствор следует подавать небольшими порциями.

Пути проникновения нижних вод по межтрубному пространству через отверстия фильтра аналогичны путям проникновения верхних вод в скважину. При этом цементирование под давлением через отверстия фильтра водоцементным раствором также применяют в тех случаях, когда нефтяной горизонт не дренирован и нет опасности его перекрыть. Во всех остальных случаях используют нефтецементный раствор.

Дополнительные эксплуатационные колонны спускают в скважины, если путем цементирования невозможно ликвидировать дефект в эксплуатационной колонне; в эксплуатационной колонне имеется несколько дефектов на разных глубинах, не поддающихся ремонту; имеется возможность спустить дополнительную обсадную колонну ниже места слома основной эксплуатационной колонны. В отдельных случаях для экономии спускаемую колонну делают подвесной, т. е. она является как бы промежуточной и перекрывает только интервал дефектов, а нижняя и верхняя части эксплуатационной колонны остаются прежними.

При спуске дополнительной колонны в виде хвостовика ее верхний конец, находящийся на некотором расстоянии от устья,

оборудуют направляющей воронкой, а нижний конец – башмаком с фаской. Дополнительные колонны спускают в скважину с пакером или с последующим ее цементированием.

К ремонтно-исправительным работам относят исправление смятий, сломов и трещин в колоннах и замена поврежденной части колонны. Колонна на каком-то участке может быть ослаблена из-за уменьшения толщины стенки или дефекта в резьбовом соединении. В этом месте обязательно скажется разрушительное действие напора вод или давления пород. Резкое снижение уровня жидкости в скважине, вследствие чего внешнее давление на колонну может превысить допустимое значение, также приведет к повреждению колонны. Кроме того, при выносе из призабойной зоны скважины в процессе ее эксплуатации большого количества песка могут происходить обвалы породы, залегающей выше дренируемого пласта, что также приводит к смятию и слому колонны.

Смятые участки колонны выправляют оправочными долотами или специальными оправками.

Если исправить колонну долотами не удается, участок смятия обрабатывают плоскими или коническими фрезерами. Выправленный участок укрепляют цементным кольцом, для чего за колонну под давлением нагнетают цементный раствор.

Ловильные работы по извлечению оборвавшихся труб и упавшего инструмента занимают особое место в капитальном ремонте. Наиболее сложными являются работы по захвату и извлечению труб, так как колонна насосно-компрессорных труб, упавшая в скважину, при ударе о забой изгибается по всей длине и заклинивается в эксплуатационной колонне. Кроме того, иногда трубы при ударе о забой ломаются в нескольких местах и располагаются в скважине рядами. Трубы могут также врезаться в пробку, если она имеется в скважине.

Прежде чем спустить в скважину ловильный инструмент, необходимо обследовать состояние эксплуатационной колонны и положение упавших в скважину труб или каких-либо предметов. Для этого служат свинцовые печати. Смятие эксплуатационной колонны обычно обследуют конусной печатью. Для по-

лучения отпечатка верхнего конца ловильных труб или какого-либо предмета применяют торцовую печать.

К ловильным инструментам относятся овершоты, колокола, труболовки (внутренние и наружные), метчики, крючки, удочки, ерши, штопоры и т. п. Для ловки насосно-компрессорных труб пользуются труболовками различных типоразмеров с правой и левой резьбами. Труболовки изготовляются внутренние и наружные, освобождающиеся и поддающиеся освобождению при помощи вспомогательного инструмента. Для ловли за муфту насосно-компрессорных труб и другого оборудования, оставшегося в скважине, имеющего выступы, применяют овершоты. Для ловли насосно-компрессорных труб за наружную поверхность (когда трубы оборваны в теле или из них вырвана муфта) или для захвата муфты снаружи (когда поврежден конец трубы) применяют колокола.

Чтобы извлечь оставленные в скважине трубы, часто приходится прикладывать большие усилия. Поэтому при ловильных работах применяют толстостенные бурильные трубы.

Работы по ликвидации скважин после прекращения их эксплуатации также относятся к капитальным работам. В таких скважинах вырезают и извлекают спущенные в них обсадные трубы, а ствол цементируют, заливают глинистым раствором или засыпают глиной (в зависимости от геологических особенностей скважины).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Каждан А.Б.* Разведка месторождений полезных ископаемых. –М.: Недра, 1977.

2. *Бирюков В.И., Королев Б.Н., Петров В.А.* Определение оптимальной сети предварительной разведки пластообразных месторождений. –М.:Недра, 1972.

3. *Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д.* Структура рудных полей и месторождений. –М.: Недра, 1975.

4. Горно-геологический справочник по разработке рудных месторождений. Т. 1. /Под ред. А.*М. Бейсебаева, М.Ж. Битимбаева, С.Ж. Даукеева*. –Алматы: 1997.

5. Горно-геологический справочник по разработке рудных месторождений, Т. 2. /Под ред. *А.М. Бейсебаева, М.Ж. Битимбаева, С.Ж. Даукеева.* – Алматы:1997.

6. *Ржевский В.В*. Открытые горные работы. Ч.1. –М.: Недра, 1985.

7. *Ржевский В.В*. Открытые горные работы. Ч.2. –М.: Недра, 1986.

8. *Кабдулов С.З*. Технология пневмоударного бурения с отбором керна. – Алматы: 1996.

9. *Брюховецкий И.С. и др.* Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых. –М.: Недра,1989.

10. *Абдулин Ф.С*. Добыча нефти и газа. –М.: Недра, 1983.

11. *Астафьев Ю.А., Сулина Г.С., Близнюков В.Г. и др*. Горное дело. –М.: Недра, 1973.

12. *Арцибашев В.А*. Ядерно-геофизическая разведка. Атомиздат, 1972.

13. *Погребицкий Е.О., Терновой В.И*. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. – М.:Недра, 1974.

14. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. –М.: Недра, 1969.

15. Разработка и обогащение руд Миргалимсайского месторождения. /Под ред. *О.А. Байконурова*. – Алматы: Наука, 1964.

16. *Ломоносов Г.Г., Каплунов Д.Р., Левин В.М*. Технологические схемы рудников. Учеб. пособие. – М.: МГИ, 1988.

17. *Томаков П.И., Манкевич В.В.* Открытая разработка угольных месторождений. Учеб. пособие. – М.: МГИ, 1991.

18. *Бурчаков А.С., Килячков А.П. и др.* Технологические схемы с разворотом механизированных комплексов. Метод. указания. – М.: МГИ, 1987.

19. Открытые горные работы. /Под ред. *Ю.П. Пфлейдера*, перевод с англ. –М.: Недра, 1971.

20. *Алейников А.П., Невзоров Н.И. и др*. Многоволновая статистика при изучении недр в рудных районах. –М.: Недра, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ……		3
ВВЕДЕНИЕ……		4
1	РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКПАЕМЫХ ……..……..	7
1.1	Геологоразведочные работы и учение о разведке недр …….....	7
1.1.1	Виды полезных ископаемых и комплекс требований к их изученности в недрах……	9
1.1.2	Требования производства к проведению геологоразведочных работ и основные принципы разведки недр……..	18
1.1.3	Основы учета и классификации запасов……..	22
1.1.4	Критерии степени разведанности запасов……	30
1.2	Геологические основы разведки недр……..	33
1.2.1	Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых…….....	34
1.2.2	Структуры рудных полей и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых……	37
1.2.3	Особенности физических и геохимических полей минерализованных участков недр……..	41
1.2.4	Состав полезных ископаемых, зональность месторождений и рудных тел……	46
1.3	Неоднородность природных минеральных образований и изменчивость их свойств…….	48
1.3.1	Неоднородность строения минерализованных участков недр и масштабы ее проявления……	49
1.3.2	Последовательность изучения неоднородности строения полезных ископамых …….	52
1.4	Методология изучения недр……..…….	55
1.4.1	Технические средства разведки и их разведочные возможности …….....	56
1.4.2	Системы разведки и принципы систематизации разведочных данных…….	68

1.5	Горно-технологическая оценка объектов разведки..	75
1.5.1	Зависимость представлений о масштабах и ценности природных минеральных образований от требований производства …….	76
1.5.2	Влияние условий горной технологии на представления свойствах полезных ископаемых и об их изменчивости в недрах…….	78
1.5.3	Геолого-промышленная модель строения полезного ископаемого…….....	80
1.6	Производство геологоразведочных работ…….	87
1.6.1	Оптимизация условий геологоразведочных работ..	87
1.6.2	Выбор технических средств и системы разведочных работ……..…….……	89
1.6.3	Принципы оптимизации разведочной сети……..	94
1.6.4	Оптимизация разведочной сети при проектировании разведочных работ…….	97
1.6.5	Оптимизация разведочной сети в процессе разведочных работ …….	100
1.7	Опробование……..…….	104
1.7.1	Способы отбора проб в разведочных горных выработках ……..……	107
1.7.2	Способы отбора проб в разведочных скважинах….	111
1.8	Изучение месторождений в процессе геолого-разведочных работ …….	115
1.8.1	Топогеодезические и маркшейдерские работы…….	116
1.8.2	Геологическое изучение горных разведочных выработок……..……..	117
1.8.3	Геологическое изучение разведочных скважин..	122
1.8.4	Минералого-геохимические исследования …….	124
1.8.5	Геофизические исследования в горных выработках и скважинах ……..…….	126
1.8.6	Изучение технологических свойств минерального сырья ……	130
1.8.7	Изучение горно-геологических условий эксплуатации месторождений…….....	132

1.8.8	Обобщение первичных материалов и составление сводных документов …….	135
1.9	Кондиции к подсчету запасов полезных ископаемых…….…….	139
1.9.1	Кондиции к качеству и технологическим свойствам минерального сырья……	140
1.9.2	Кондиции к оконтуриванию полезных ископаемых……..……..……..	
1.10	Разведка месторождений на разных стадиях изучения недр, различных типов и видов полезных ископаемых……	142
1.10.1	Предварительная разведка……	148
1.10.2	Детальная разведка…….	149
1.10.3	Разведочные работы в условиях действующего горного предприятия……..	158
1.10.4	Эксплуатационная разведка……...	166
1.10.5	Разведка в пределах горного отвода……..	167
1.11	Разведка месторождений различных морфогенетических типов..…….....	175
1.11.1	Разведка пластообразных месторождений……	178
1.11.2	Разведка плащеподобных и россыпных месторождений…..…..…….....	179
1.11.3	Разведка жильных и жилообразных месторождений..…..…….....	182
1.11.4	Разведка трубообразных месторождений…….	190
1.11.5	Разведка штокверковых и штокверкоподобных месторождений ……..	195
1.12	Разведка залежей прерывистого строения…..…	197
1.12.1	Особенности проявления и группировка прерывистых залежей ……	201
1.12.2	Особенности разведки прерывистых залежей..…	201
1.13	Разведка месторождений различных видов полезных ископаемых ……	204
1.13.1	Особенности разведки, обусловленные составом или свойствами полезного ископаемого в недрах..	205

1.13.2	Особенности разведки, связанные с условиями использования минерального сырья в промышленности……..……..…….	206
1.13.3	Особенности разведки, обусловленные спецификой технологии разработки месторождений…	208
1.13.4	Особенности разведки, обусловленные исключительно высокой или весьма низкой ценностью полезного ископаемого …….	213
1.13.5	Особенности разведки жидких и газообразных полезных ископаемых……..	215
2	РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПОДЗЕМНЫМ И ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ…	217
2.1	Подземные рудники. Основные понятия……	221
2.1.1	Данные о месторождении и условия его промышленного освоения……..	221
2.1.1.1	Запасы руд и металлов по месторождению..……	222
2.1.1.2	Категории запасов и их учет……..……	222
2.1.1.3	Группы месторождений по сложности геологического строения……	223
2.1.1.4	Организация научных исследований……	223
2.1.1.5	Принятие решения о проектировании и строительстве горного предприятия……..	227
2.1.1.6	Горные выработки……..	228
2.1.2	Выбор площади (трассы) для строительства, инженерные изыскания и проектирование……..	229
2.1.3	Земельный и горный отводы. Охрана недр..……	232
2.1.4	Порядок ликвидации и консервации предприятия по добыче и переработке полезных ископаемых.	234
2.1.4.1	Общие требования……..…….	236
2.1.4.2	Порядок получения разрешения на ликвидацию или консервацию предприятия по добыче полезного ископаемого……..……	236
2.1.4.3	Содержание проекта ликвидации и консервации предприятия по добыче полезных ископаемых..	239
2.1.5	Вскрытие и подготовка месторождений полезных ископаемых …….	240

2.1.5.1	Способы вскрытия шахтного поля и раскройка месторождения на ряд шахтных полей……	242
2.1.5.2	Классификация способов вскрытия месторождений…..……..……..	244
2.1.5.3	Расположение вертикальных стволов в шахтном поле…..…….....	245
2.1.6	Подготовка шахтных полей……..……..	248
2.1.6.1	Подготовительные и нарезные выработки……	249
2.1.6.2	Способы подготовки шахтного поля..…….….	250
2.1.7	Системы разработки……..……..…	253
2.1.7.1	Классификационные признаки системы разработки..….....…….....	256
2.1.7.2	Единая классификация систем подземной разработки рудных месторождений……..…	257
2.1.7.3	Системы с открытым выработанным пространством…..…….…….	259
2.1.7.4	Сплошные системы разработки……	260
2.1.8	Управление горным давлением…….	261
2.1.8.1	Гипотезы горного давления…..……	262
2.1.8.2	Поддержание целиками…..……..….	263
2.1.8.3	Напряженное состояние и несущая способность целиков.....…..……	264
2.1.8.4	Искусственные способы поддержания выработанного пространства……	266
2.1.8.5	Магазинирование руды как временное поддержание выработанного пространства..……	266
2.1.8.6	Способы управления горным давлением с обрушением.....……	267
2.1.8.7	Крепление очистных забоев…….….....	268
2.1.8.8	Анкерное (штанговое) крепление.....	271
2.1.8.9	Закладка выработанного пространства.....	273
2.1.9	Рудничный транспорт……..…..….....	276
2.1.10	Рудничная вентиляция……..……..….....	278
2.1.10.1	Рудничный воздух……..…..….....	279
2.1.10.2	Рудничная пыль……..…..….....	280
2.2	Основные понятия открытых горных работ.....	288

2.2.1	Способы разработки месторождений полезных ископаемых …….....	288
2.2.1.1	Технология разработки месторождений.....	289
2.2.1.2	Понятие о карьере и его параметрах.....	292
2.2.2	Технологическая характеристика горных пород.....…….....	299
2.2.3	Способы подготовки горных пород к выемке.....	301
2.2.3.1	Общие сведения……..……	301
2.2.3.2	Управляемое обрушение пород.....	302
2.2.3.3	Механические способы подготовки к выемке естественного камня……	304
2.2.3.4	Механическое рыхление горных пород.....	312
2.2.3.5	Основные положения подготовки скальных пород взрывом …….....	317
2.2.4	Технологические основы буровых работ.....	319
2.2.4.1	Буримость горных пород.....	319
2.2.4.2	Виды бурения и их технологическая оценка.....	324
2.2.5	Технологическая оценка основных видов выемочного оборудования…….	327
2.2.6	Карьерные грузы и средства их перемещения.....	331
2.2.6.1	Общие сведения…..….....	331
2.2.6.2	Характеристика горных пород по трудности транспортирования…….	335
2.2.6.3	Технологическая оценка видов карьерного транспорта……..	336
2.2.7	Основы безопасности ведения взрывных работ..	341
3	РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ…..……..	344
3.1	Условия формирования нефтяных и газовых залежей.....	344
3.1.1	О происхождении нефти и газа.....…….	344
3.1.1.1	Природные коллекторы нефти и газа...……	345
3.1.1.2	Условия залегания нефти, газа и воды в залежах.	347
3.1.2	Системы разработки нефтяных месторождений..	352
3.1.3	Основные принципы проектирования разработки нефтяных месторождений…….	358

3.1.4	Задачи вскрытия продуктивного пласта и закачивание скважин…….	363
3.1.4.1	Конструкция скважин и оборудование их забоя.	365
3.1.4.2	Перфорация скважин…….	369
3.1.4.3	Освоение скважины и пуск её в эксплуатацию…	374
3.1.5	Фонтанная эксплуатация нефтяных скважин…..	377
3.1.5.1	Подъем газожидкостных смесей по вертикальным трубам…….	377
3.1.5.2	Оборудование фонтанных скважин……..	382
3.1.5.3	Осложнения при фонтанной эксплуатации скважин и методы борьбы с ними……	388
3.1.5.4	Исследования фонтанных скважин и установление оптимального режима работы……	398
3.1.6	Газлифтная эксплуатация скважин……	400
3.1.6.1	Принцип газлифтной эксплуатации скважин…...	400
3.1.6.2	Конструкции и системы подачи рабочего агента газлифтных подъемников……..	403
3.1.6.3	Преимущества и недостатки газлифтного способа эксплуатации нефтяных скважин……	404
3.1.6.4	Осложнения при газлифтной эксплуатации скважин, их предупреждение и ликвидация……	406
3.1.6.5	Повышение эффективности работы газлифтных подъемников……	408
3.1.7	Эксплуатация скважин штанговыми скважинными насосами…….....	409
3.1.7.1	Схема и принцип работы штанговой насосной установки……	410
3.1.7.2	Подача штанговой насосной установки……	411
3.1.7.3	Штанговые насосы……..	413
3.1.7.4	Борьба с осложнениями при эксплуатации скважин штанговыми насосными установками……..	418
3.1.8	Эксплуатация скважин погружными насосами…	422
3.1.8.1	Установка погружного центробежного электронасоса…….	423
3.1.9	Методы увеличения проницаемости призабойной зоны пласта…….....	426
3.1.9.1	Причины низкой продуктивности скважин……	426

3.1.9.2 Кислотные обработки скважин…… 428
3.1.9.3 Борьба с коррозией нефтепромыслового оборудования и вредным влиянием примесей в кислотном растворе при обработках скважин… 432
3.1.9.4 Технология и техника кислотных обработок скважин…… 434
3.1.9.5 Солянокислотная обработка высоко температурных скважин……..... 438
3.1.9.6 Обработка скважин с получением кислоты на забое…….. 441
3.1.9.7 Пенокислотная обработка скважин……... 445
3.1.9.8 Гидравлический разрыв пласта……. 446
3.1.10 Очистка ствола скважины от песочных пробок.. 448
3.1.11 Капитальный ремонт скважин…… 453
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙСПИСОК…… 458

Учебное издание

Меркулова Валентина Петровна

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Часть I

Учебное пособие

Нач. РО ИИЦ *З.А. Губайдулина*
Редактор *Г.М. Дюсенбаева*
Компьютерная верстка *А.Б. Аришова*

Подписано в печать 14.11.2013 г.
Тираж 300. Формат 60 х 84х 1/16. Бумага типогр. №1.
Уч.-изд.л. 29,3. Усл. 27,2. п.л. Заказ № 365.

Издание Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева
Информационно-издательский центр КазНТУ
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-228-542-0

